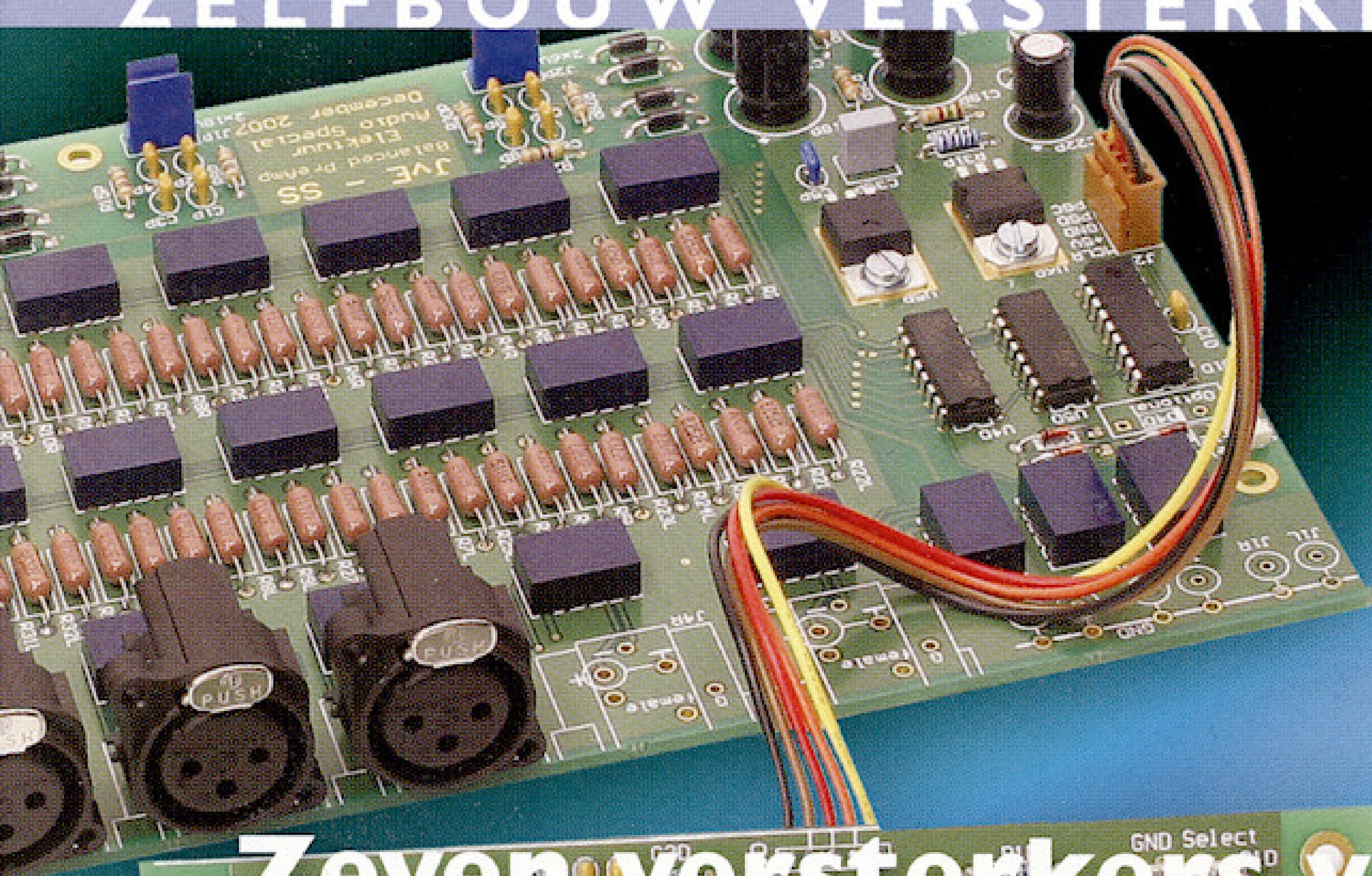
elektor

audio

special 2

ZELFBOUW VERSTERKERS EN LUIDSPREKERS

€15,90



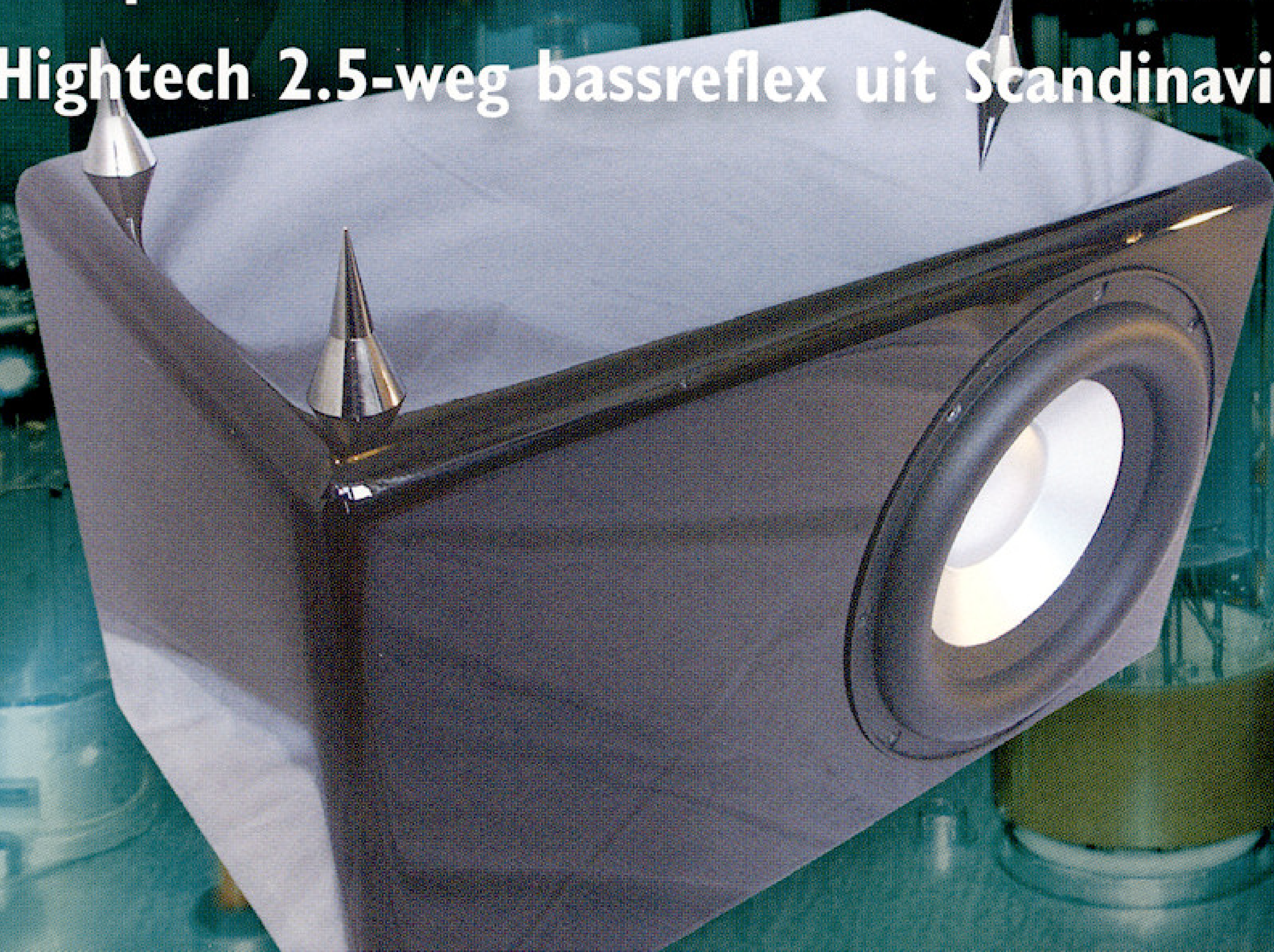


Zeven versterkers voor zelfbouw o.a.:

- Buizenversterker met regelbare dempingsfactor
- 50 Watt super triode versterker
- Minimalistische 120W klasse-B versterker
- Gebalanceerde voorversterker met relais volumeregeling

Zeven luidsprekers voor zelfbouw o.a.:

- Compacte tweeweg vloerstaander
- Drieweg open-baffle dipool luidspreker
- Compacte actieve subwoofer in twee smaken
- Hightech 2.5-weg bassreflex uit Scandinavië





Zelfbouwaudio,
voor en door liefhebbers

Zelfbouwaudio is in Nederland en Belgie nog steeds een hobby met veel liefhebbers. Deze hobbyisten treffen elkaar doorgaans op de diverse zelfbouw dagen, of op de fora op het internet. Veel van deze hobbyisten zijn op zoek naar interessante zelfbouwontwerpen. Om aan deze behoefte tegemoet te komen heeft Elektor samen met hobbyisten, leveranciers en winkeliers het initiatief genomen een aantal ontwerpen te bundelen in een jaarlijkse uitgave. Voor u ligt de tweede editie daarvan, die netzoals vorig jaar tjokvol zit met interessante ontwerpen.

De afgelopen maanden is er op de diverse fora op internet gepolst wat voor ontwerpen en artikelen u, als lezer, graag terug zou willen zien in deze tweede editie. Daarmee is de eindredactie aan de slag gegaan en heeft wederom een aantal auteurs bereid gevonden met een interessant ontwerp of achtergrondartikel te komen. In deze Audio Special vindt u een viertal ontwerpen met buizen, een drietal ontwerpen met halfgeleiders en maar liefst zes luidsprekerontwerpen alsmede een vernieuwend achtergrondartikel. De buizenontwerpen varieëren van een 30W eindversterker met instelbare dempingsfactor tot een eindversterker met maar liefst 300W uitgangsvermogen. De halfgeleiderontwerpen omvatten ondermeer een minimalistische 120W klasse-B eindversterker met uitmuntende prestaties en daarnaast een universeel toepasbare versterkerschakeling voor gebalanceerd gebruik.

Ook wordt een belofte ingelost die met de vorig jaar gepubliceerde ExtremA eindversterker gemaakt is; in deze editie vindt u de bijpassende voorversterker, voorzien van relais en vaste weerstandsdelers voor de volumeregeling en uiteraard met infrarood afstandsbediening. De luidsprekerontwerpen zijn deze keer zeer gevarieerd, van een tweetal subwoofers tot een minitieuze kwaliteitsmonitor. Als toetje bevat deze Audio Special een achtergrondartikel over open-baffle luidsprekers, zodat u na het lezen hiervan weer helemaal bij de tijd bent. Kortom, in deze tweede editie vindt u voor ieder wat wils, of u nu liefhebber bent van schakelingen met buizen of halfgeleiders, of liever een paar luidsprekers bouwt, ook deze tweede Audio Special is een uitgave die u niet wilt missen.

De auteurs van de Audio Special en Elektor wensen u veel lees- en bouwplezier.

ir. Sander Sassen
ir. Menno van der Veen

Elektor Special
Audio 2, December 2007

BUIZENVERSTERKERS

5 **30 Watt buizenversterker met variabele dempingsfactor**

10 **50 Watt super triode versterker**

14 **300 Watt buizen eindversterker**

19 **Digibias: digitaal de ruststroom instellen en bewaken**

LUIDSPREKERS

26 **Paper Hatt**
– klein maar fijn

30 **Origami M en C**
– compacte actieve subwoofer in twee smaken

38 **Meerweg open baffle systemen**
– basistheorie, ontwerp en meetmethode

45 **Moai**
– hightech uit scandinavië

49 **OB3W**
– drieweg open-baffle dipool van formaat

55 **1685a**
– compacte tweeweg vloerstaander

60 **ScanSpeak Vertigo**
– duizelingwekkend mooi driewegsysteem

HALFGELEIDERVERSTERKERS

68 **MinimA**
– minimalistische 120W klasse-B versterker

72 **Gebalanceerde voorversterker met actief wisselfilter**

76 **RelaiXed**
– gebalanceerde voorversterker met relais



30 Watt buizenversterker

met variabele dempingsfactor

DOOR JONATHAN MELISSANT

In deze buizenversterker wordt een heel oud en bijna vergeten principe van stal gehaald. Door stroom en spanningtegenkoppeling te combineren kan de dempingsfactor aan de uitgang van de versterker gewijzigd worden. Hoge demping zoals bij transistorversterkers is nu ook met een buizenversterker realiseerbaar. Vooral bij de basweergave is dit belangrijk, omdat hiermee de weergave van uiterst strak tot week ingesteld kan worden.

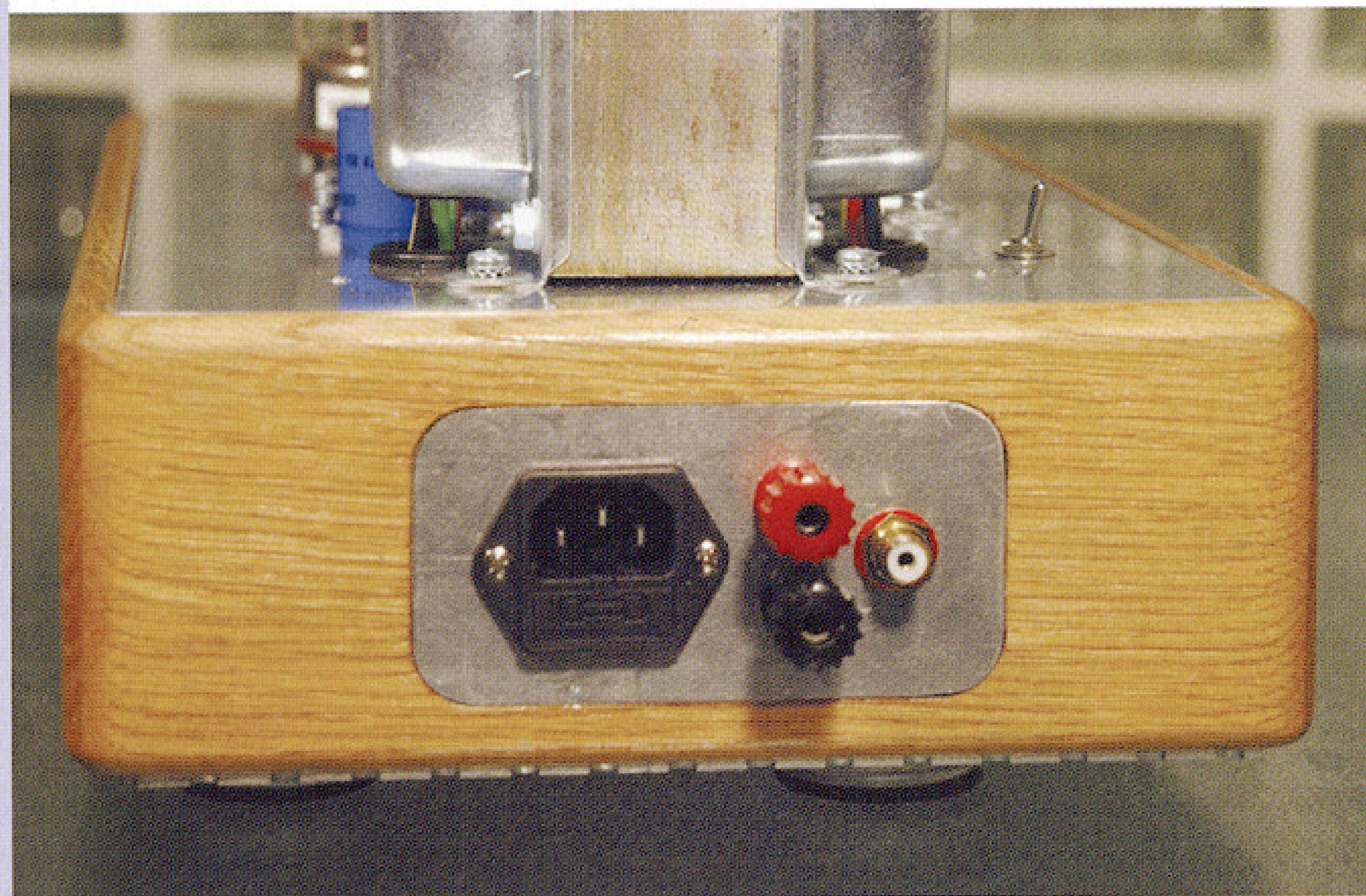
Inleiding

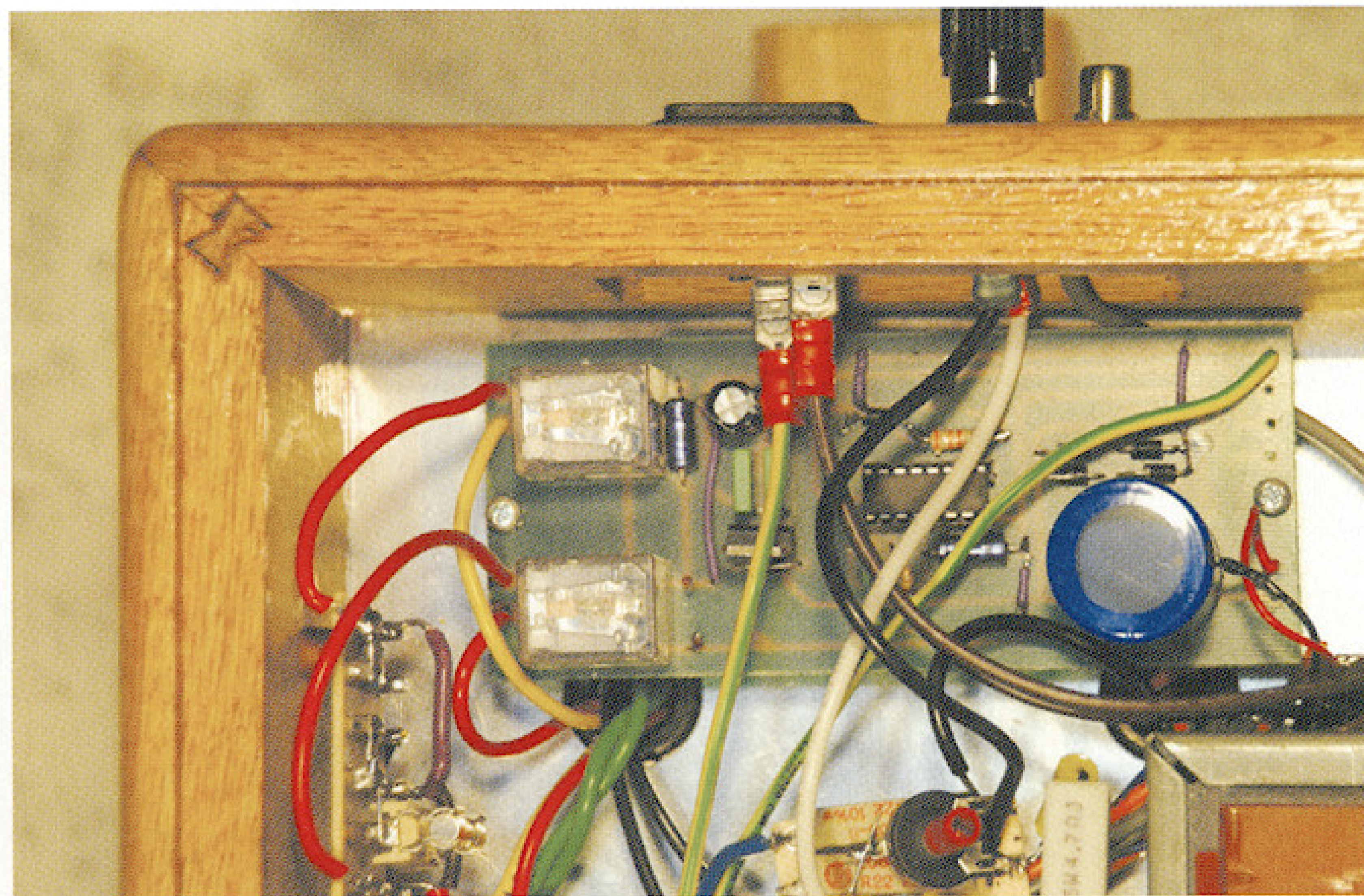
Iedere audio versterker heeft aan zijn luidsprekeruitgang een schijnbare weerstand zitten, die de uitgangsimpedantie Z_{uit} genoemd wordt. Bij transistorversterkers is deze Z_{uit} meestal heel klein, in de orde van 0,1 Ohm, of nog minder. Bij buizenversterkers is de situatie anders; waarden van 1 tot 10 Ohm zijn daar normaal.

Nu moet die uitgangsimpedantie in serie gedacht worden met de impedantie Z_L van de aangesloten luidspreker. De stromen naar en van de luidspreker lopen dus door ($Z_{uit} + Z_L$). De demping van de eigenbeweging van de luidspreker heeft rechtstreeks met deze totale impedantie te maken. Als de luidspreker naslingert, of eigen bewegingen wil uitvoeren, wordt in de luidspreker zelf een spanning opgewekt, die men de tegen-EMK noemt. Die spanning ontstaat doordat de spreekspoel beweegt in het magneetveld van de luidspreker. Dit is vergelijkbaar met de spanningsopwekking bij een fietsdynamo, waar de magneet beweegt ten opzichte van de spoel in de dynamo.

Nu is het in principe niet de bedoeling dat de luidspreker eigen bewegingen uitvoert; de luidspreker moet weergeven wat de versterker hem vertelt te doen. Dus moeten die eigenbewegingen gedempt worden. Dat gebeurt dan ook in de praktijk, want de stroom door de spreekspoel die de eigenbeweging dempt is gelijk aan de tegen-EMK gedeeld door ($Z_{uit} + Z_L$). Als nu Z_{uit} een grote weerstand is, dan kan de dempstroom nooit groot worden, en slingert de luidspreker gemakkelijk na.

Men heeft de zogenaamde "dempingsfactor" DF als maat ingevoerd om de demping van die eigenbeweging in een getal uit te drukken. Er geldt: $DF = Z_L / Z_{uit}$. Meestal voegt men aan DF een subscript 4 of 8 toe, om aan te geven met welke luidspreker impedantie men rekent. Bijvoorbeeld: $DF_4 = 4 / Z_{uit}$; dus men beschouwt nu een





Aansluitingen achterkant

Print inschakelvertraging

luidspreker met een impedantie van 4 Ohm.
Neem als voorbeeld een transistorversterker met DF_4 = 100. Deze versterker heeft een Z_{uit} van 4 / 100 = 0,04 Ohm. Neem een buizenversterker met DF_4 = 2; dan is Z_{uit} = 4 / 2 = 2 Ohm. Uit deze getallen wordt duidelijk dat Z_{uit} bij buizenversterkers groter is dan bij transistorversterkers. Hierdoor is het logisch dat buizenversterkers de eigenbeweging slechter dempen. In de volksmond heet het dat buizenversterkers "warmer" klinken. Wat men zo omschrijft is dat vooral de basweergave minder kort en afgebakend is dan bij transistorversterkers. Of dit mooier klinkt of niet staat op dit moment buiten de discussie.

Spanning tegenkoppeling

Er bestaan verschillende manieren om de DF van een versterker te wijzigen. De belangrijkste daarvan worden nu besproken.
De eerste methode is de toepassing van negatieve spanning tegenkoppeling. Daarbij wordt de uitgangsspanning van de versterker voor een deel teruggevoerd naar de ingang en aldaar vergeleken met de werkelijke ingangspanning. Als er tussen die twee een verschil bestaat, dan wordt dit verschil omgekeerd in fase opnieuw door de versterker gevoerd, zodat deze zelf zijn eigen fouten gaat corrigeren. De totale versterking neemt hierdoor af; een deel daarvan wordt immers voor de correctie gebruikt. Op dezelfde manier neemt tegelijk ook de uitgangsimpedantie Z_{uit} af, waardoor de versterker een grotere dempingsfactor krijgt. Dit is de situatie die we bij de meeste transistorversterkers aantreffen en minder bij buizenversterkers, omdat bij de laatste nauwelijks wordt tegengekoppeld. In het schema van de hier besproken versterker zorgt R25 samen met R5 voor deze spanning tegenkoppeling.

Stroom tegenkoppeling

De tweede methode om de dempingsfactor te veranderen is dat men de "stroom" door de luidspreker gaat tegenkoppelen. In het hoofdschema van de versterker is zichtbaar dat aan de onderkant van de secundaire wikkeling van de uitgangstransformator een weerstand zit van R23 = 0,22 Ohm. Ook zit een de onderkant van de luidspreker een gelijke weerstand R26 = 0,22 Ohm. Met de instelpotentiometer P4 van 100 Ohm kan gekeken worden naar de spanning over R23 of over R26 of daar ergens tussen in. De stroom door de luidspreker loopt in een gesloten kring vanaf de bovenkant van de secundaire door de luidspreker, vervolgens door R26 naar aarde, vanaf aarde door R23 weer terug naar de onderaansluiting van de secundaire. Door P4 loopt een verwaarloosbare stroom. De stroom door de luidspreker verschijnt nu als een spanning over R23 en een spanning over R26. Alleen de fase (het teken) van de spanning bij R23 is precies omgekeerd als bij R26. Staat de loper van P4 helemaal naar links, dan wordt de spanning over R23 gebruikt; naar rechts wordt de spanning over R26 gebruikt. Staat P4 precies in het midden, dan heffen de tegenfase spanningen van R23 en R26 elkaar op. Via de weerstand R24 wordt deze met de stroom evenredige spanning naar de ingang (naar R5) gevoerd. De versterker controleert vervolgens zelf of er vreemde eigenbeweging stromen aanwezig zijn en onderdrukt deze (P4 staat naar links) door zelf een tegenstroom op te wekken. Of hij kan die eigenbeweging stroom juist versterken (P4 staat naar rechts) en groter maken. Het eindeffect is dat bij P4 naar links de dempingsfactor toeneemt en zelfs oneindig groot wordt (Z_{uit} = 0 Ohm). Staat P4 naar rechts dan wordt de demping sterk verzwakt en wordt Z_{uit} juist groter; de dempingsfactor wordt klein. Door P4 te verdraaien kan de dempingsfactor van de versterker dus gewijzigd worden van oneindig groot tot nagenoeg niks. Zie 1) voor een meer uitleg. Daar wordt ook de wiskunde van deze bijna vergeten tegenkoppeling behandeld.

Audio schematuur

Direct achter de ingang zit de volumeregelaar P1. De gevoeligheid aldaar is voldoende om rechtstreeks een CD-speler aan te sluiten en te regelen. Heeft men bronnen met minder uitgangsspanning, dan is een extra voorversterking gewenst. Dat kan bijvoorbeeld met de tweede nu nog niet gebruikte helft van de 6SN7 dubbeltriode. Bij alle buizen in deze versterker zit voor de stuurroosters een 'grid stopper' weerstand van 1 kOhm, die ongewenste hoogfrequente oscillatie voorkomt. Bij de eerste buis wordt op de kathode, tussen R4 en R5 het tegenkoppelsignaal aangesloten. In de eerste buis vindt dus het vergelijk plaats tussen de ingangsspanning en de uitgangsspanning en de uitgangsstroom. Om dit vergelijk zo nauwkeurig mogelijk te laten zijn mag de

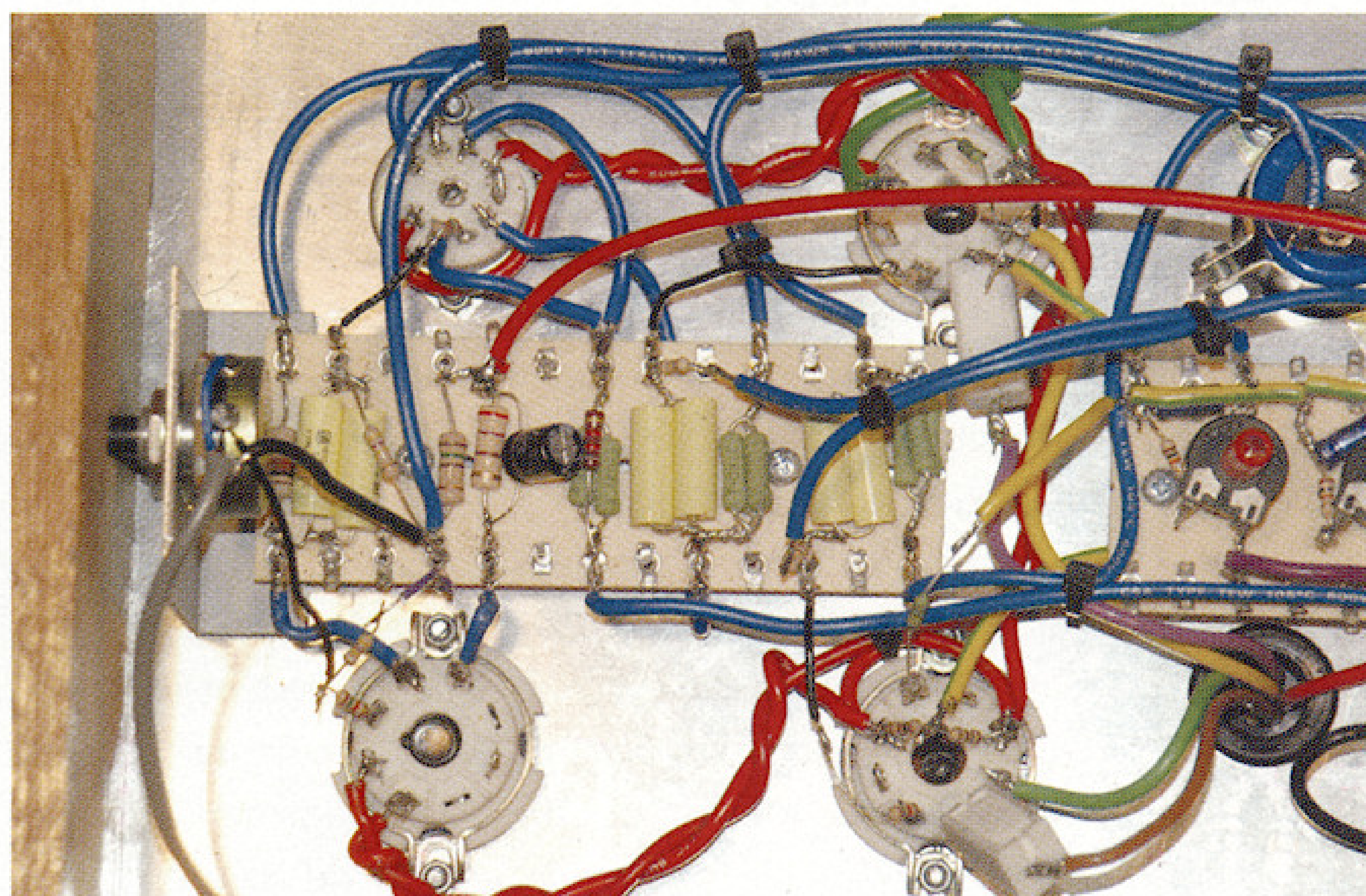
bandbreedte van deze trap niet beperkt worden en moet het werkgebied verre overtreffen. Daarom is de anodestroom door de eerste triode redelijk hoog en de bijbehorende anodeweerstand R3 redelijk laagohmig. Dan heeft de Miller capaciteit van de volgende buizen nauwelijks enige bandbreedte beperken de invloed.
De tweede buis is als long tailed (= gekoppelde kathodes met daaronder de stroombron R9) fasedraaier geschakeld. De anodeweerstanden R8 en R10 zijn iets verschillend om de beide buishelften van de ECC99 evenveel te laten versterken. De stroombron R9 is namelijk niet oneindig ohm, maar slechts 1k8 waardoor de balans in versterking bij de anodes gecorrigeerd moet worden.
Vervolgens gaat het versterkte signaal naar de eindbuizen. Deze krijgen op hun stuurroosters een instelbare negatieve voorspanning om de ruststroom in te stellen. Heel bijzonder zijn de weerstanden R14 en R17 die er voor zorg dragen dat, zelfs bij half defecte instelpotentiometers P2 en P3, de roosters gegarandeerd een negatieve voorspanning krijgen. Zo wordt slim voorkomen dat de eindbuizen zich kunnen opblazen. De ruststroom door de eindbuizen bedraagt 60 mA, die in rust te meten valt door een spanning van 600 mV over R13 en R18. De eindbuizen zijn ultra lineair aangesloten op de GIT80 uitgangstrafo; zie 2) voor gedetailleerde gegevens daarvan. De aansluitingen van deze trafo zijn hier zo gekozen dat de primaire impedantie Z_{aa} = 4 kOhm. Aan de secundaire zijde kunnen luidsprekers van 2 en 4 en 8 Ohm aangesloten worden. De waarden van de gecombineerde spanning en stroomtegenkoppeling is hier gedimensioneerd voor de 8 Ohm aansluiting. Herberekening daarvan, of een gewijzigde instelling van P4, is nodig als er 2 of 4 Ohm luidsprekers worden gebruikt; zie verderop.

De voeding

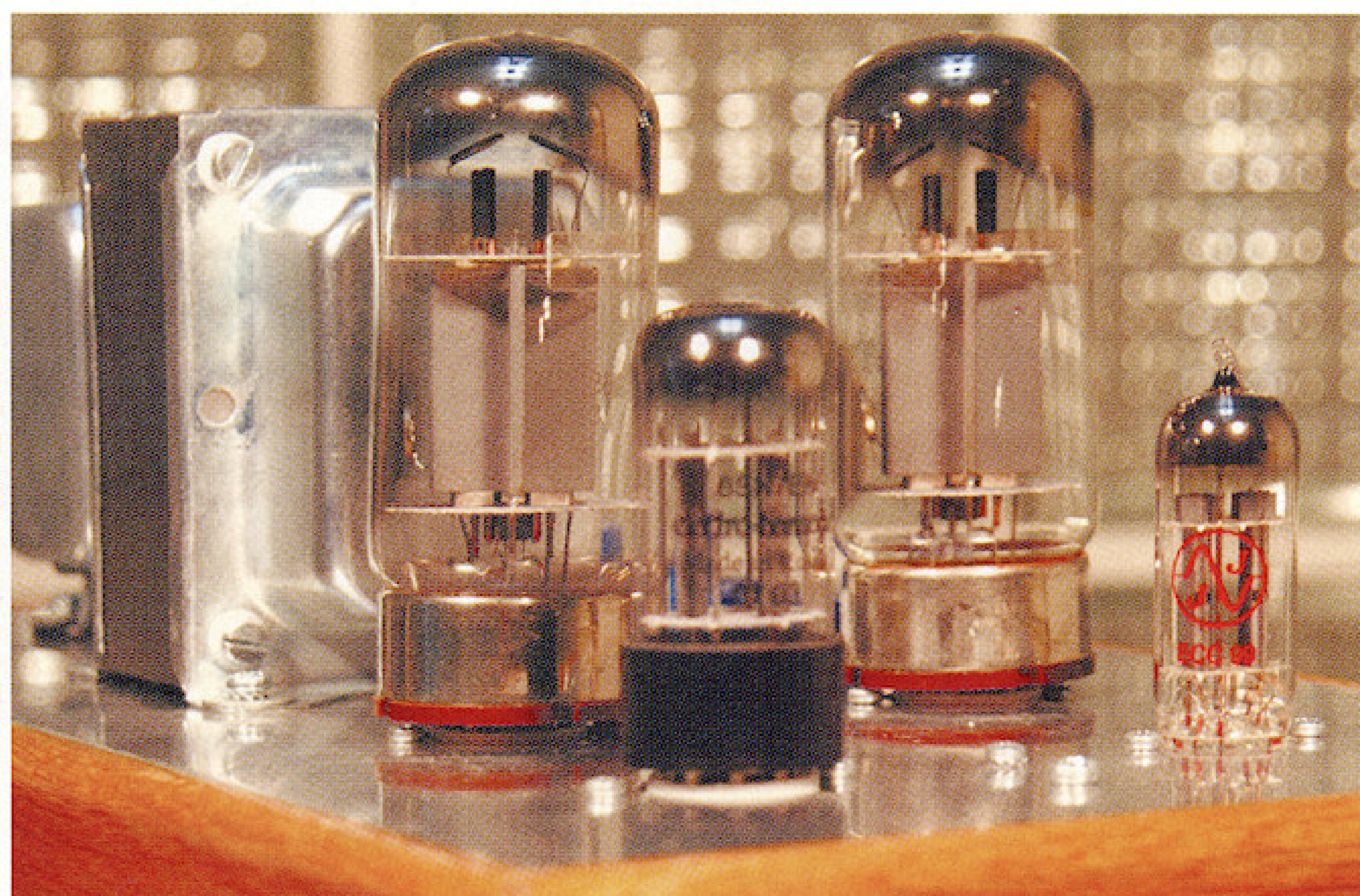
Daarover valt niet zoveel te vertellen; het is allemaal redelijk standaard. De voedingstrafo is de POW80; zie 2) voor nadere gegevens. Daarop zit nog extra een ongebruikte hoogspanningswikkeling die eventueel parallel gesteld kan worden aan de bovenste voor meer stroomleverantie, maar nodig is dat niet. De waardes van de gebruikte voedingsspanningen staan in het voedingsschema vermeld en behoeven ook nauwelijks verdere toelichting. De gloeidraadspanning is in verband met minimale brom kunstmatig in het midden geaard door de twee weerstanden van 100 Ohm, maar enkelzijdige aarding werkt ook goed.

Berekenen van tegenkoppeling

In de rechter bovenhoek van de audio schematuur staan de meeste spanningen en stromen vermeld. Deze gegevens betreffen de rustinstelling, maar ze zeggen nagenoeg niks over de berekening van de bijzondere tegenkoppeling. Daarvoor zijn andere gegevens nodig en die volgen nu.
De open lus versterkingsfactor A0 bedraagt 151 maal bij 1 kHz. Daarbij is aan de uitgang geen luidspreker aangesloten en zijn R24 en R25 nog niet aangesloten. Met een luidsprekerbelasting van 8 Ohm zakt de versterkingsfactor in elkaar tot $A_{0,load}$ = 56,6 maal. Uit het verschil tussen A0 en $A_{0,load}$ kan de uitgangsimpedantie van deze versterker berekend worden en deze bedraagt Z_{uit} = 13,3 Ohm. In tegengekoppelde toestand is een versterkingsfactor gewenst van A_{eff} = 15 maal.
Met verwijzing naar de formules in hoofdstuk 5.3 van 1), kunnen nu de weerstanden R24 en R25 berekend worden ten opzichte van de kathodeweerstand R5 in de eerste versterkingstrap. Daarbij gaan we er van uit dat P4 helemaal naar links staat en de "stroom" door R23 leest. Dat levert op: β_1 = 0,0600 (formule 5.3.3); β_2 = 0,407 (formule 5.3.4 met teller gelijk aan nul). Met gebruik van R5 = 150 Ohm (dit is R1 in de formules) kunnen nu de tegenkoppelweerstanden berekend worden. Dat levert op: R25 = 1333 Ohm (R2 in de formule 5.3.6) en R24 = 196 Ohm (R3 in de formule 5.3.7). Deze waardes zijn niet zo maar te koop, dus het beste is om ze met enige E12 weerstanden in serie of parallel samen te stellen. Ook is het hier zinvol om rekening te houden met het feit dat Z_{uit} sterk afhangt van de ruststroom door de twee eindbuizen. Stelt men die hoger in (maximaal 110 mA), dan daalt Z_{uit} evenredig en krijgen R24 en R25 overeenkomstige andere waarden. In de start van de bouw is het daarom verstandig om R24 en R25 waarden te geven die ongeveer in de buurt liggen.
Wat gebeurt er als P4 helemaal naar rechts staat en de stroom door R26 leest? Dan wordt β_2 = - 0,406 (het teken van b2 wijzigt dus). Uit formule 5.3.4 volgt dan dat Z_{uit} = 2,7 Ohm.
Met behulp van P4 kan de dempingsfactor dus geregeld worden van DF_8 = 8/2,7 = 3 tot oneindig. Waarlijk een

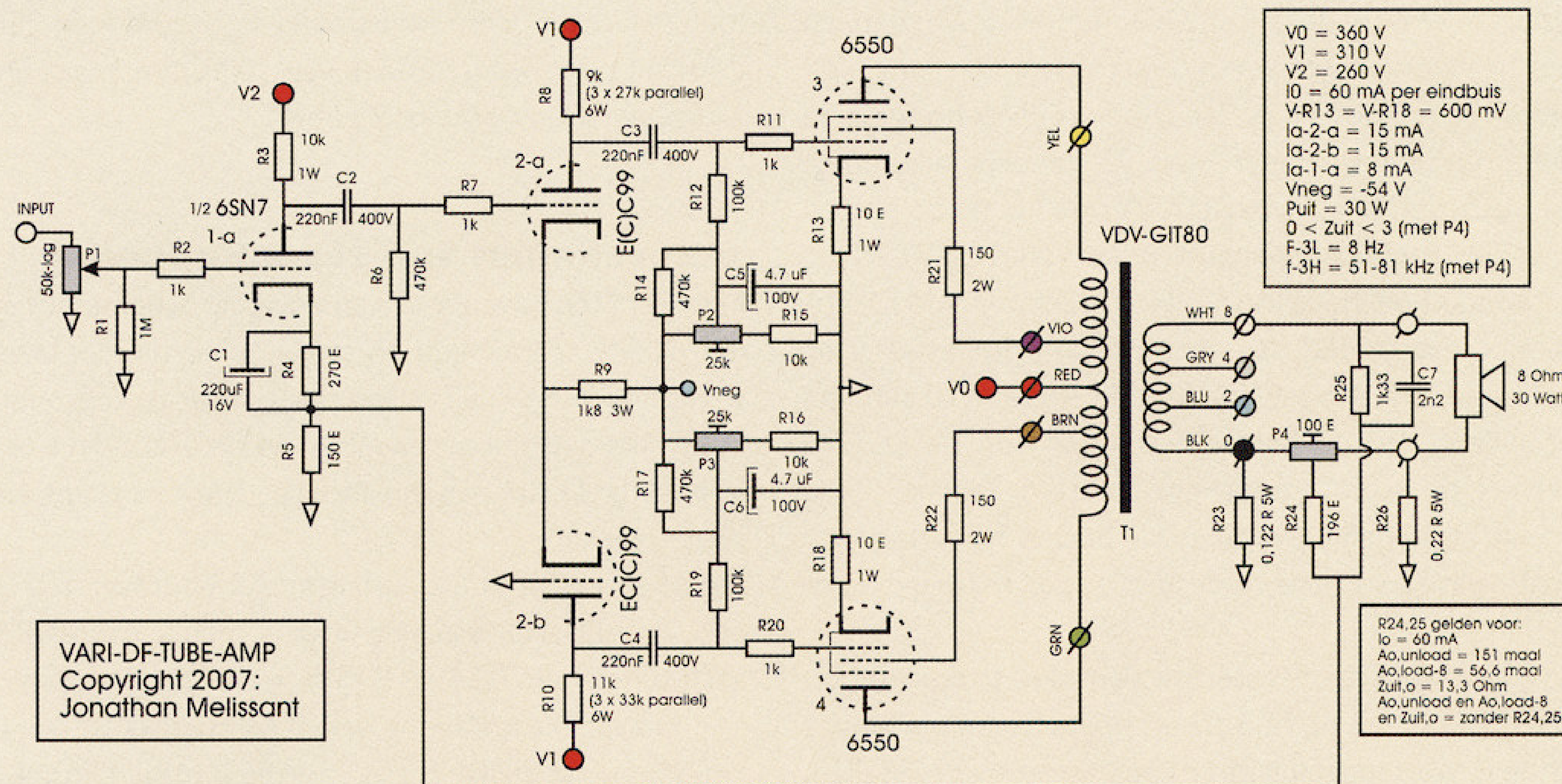


Buisbedrading onder

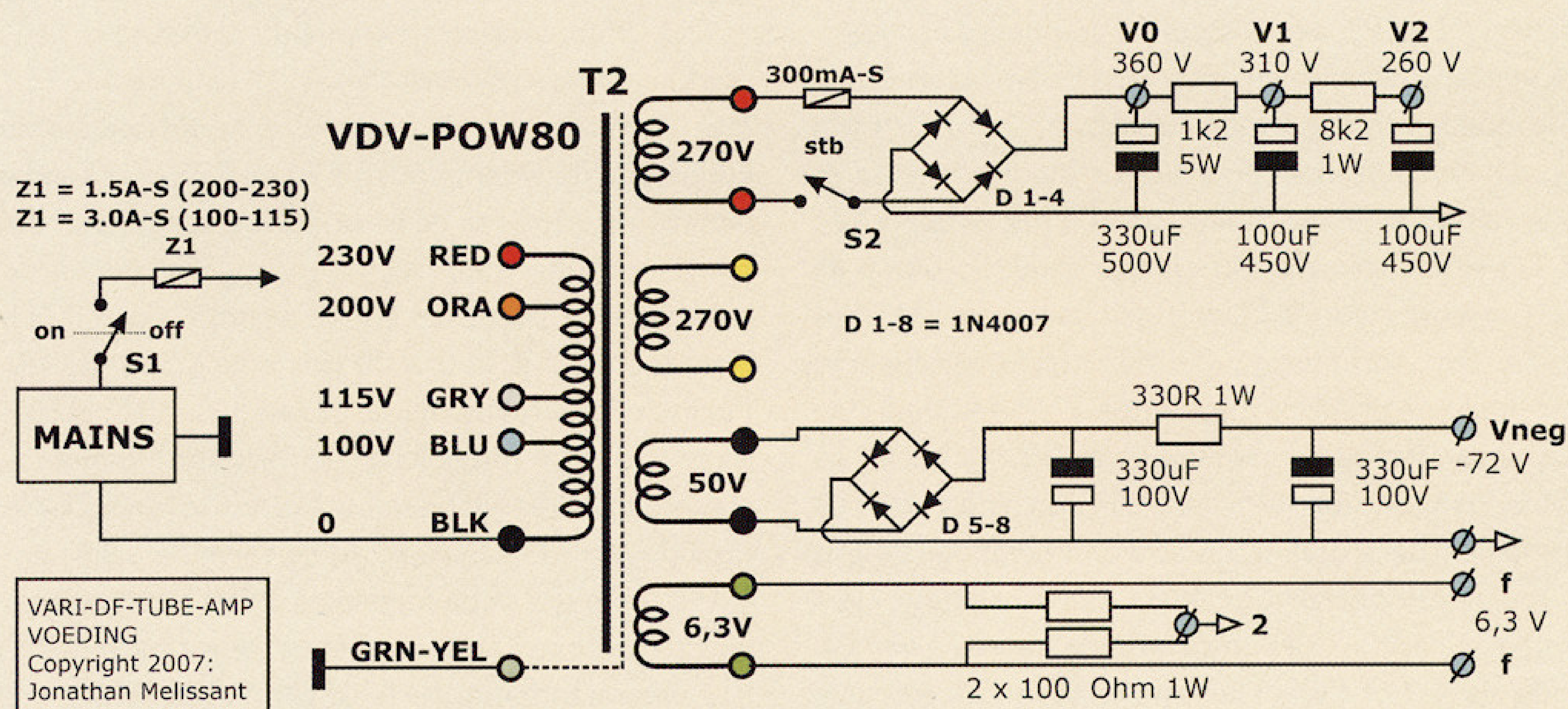


Buizen in volle glorie

figuur 1: Schema audiodeel van de Vari-DF-Tube-Amp



figuur 2: Schema van de voeding van de versterker

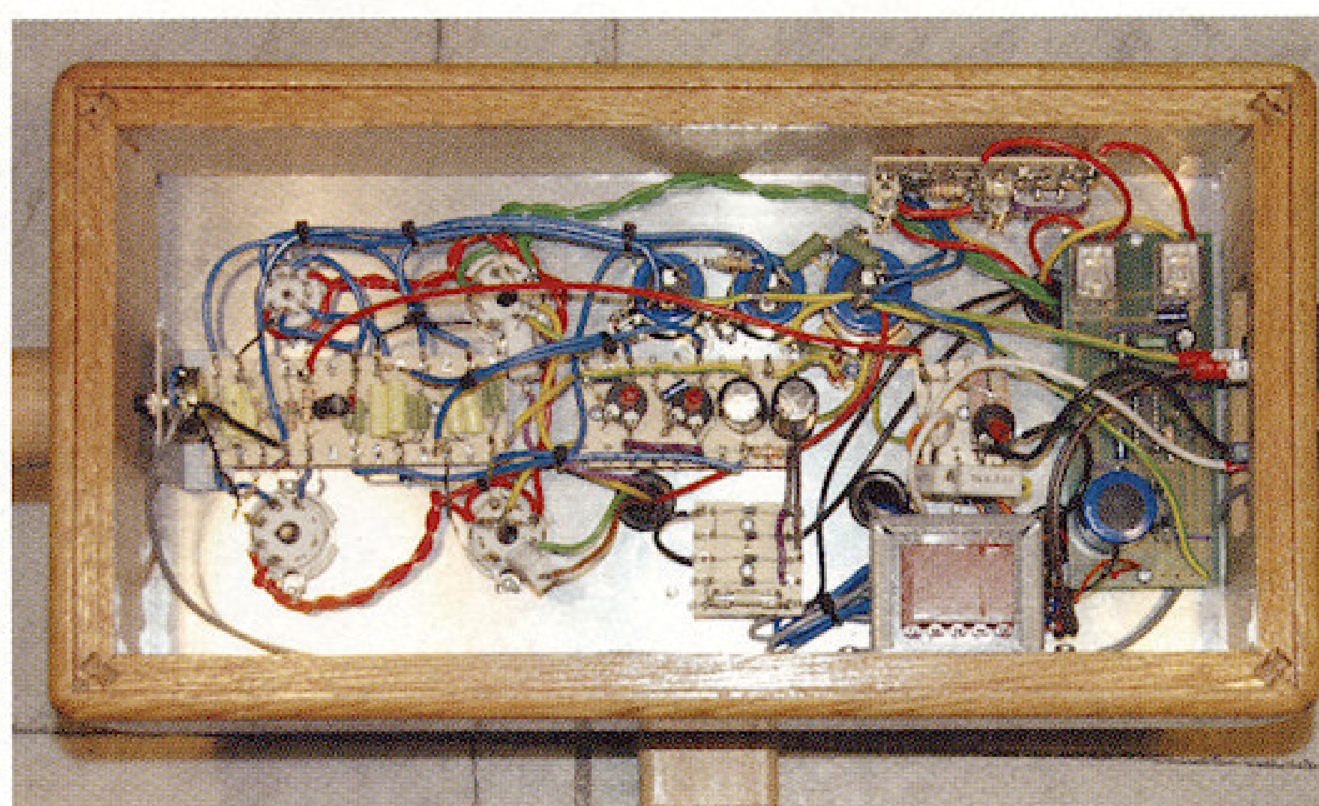


mooi regelbereik, van buizenklank tot aan strakke basweergave.

Meetresultaten

De belangrijkste meetresultaten staan in het schema, voedingsspanningen en stromen zijn daar eveneens aangegeven. Het maximum continue vermogen is gemeten vlak voordat enige clipping begint. Het frequentiebereik is bepaald bij een uitgangsspanning van 8 V_{tt} in de luidsprekerbelasting van 8 Ohm. Dit is identiek aan een vermogen van 1 Watt, wat overeenkomt met het gemiddelde luistervermogen in een huiskamer bij een luidspreker met een rendement van 90 dB/W,m. Opmerkelijk is het ruime laagfrequente bereik, waarvan de -3 dB frequentie op 8 Hz ligt, wat veroorzaakt wordt door de koppelcondensatoren C3,4 plus R12,17. Hier vormt de uitgangstrafo dus niet de begrenzing, want die heeft meer dan voldoende primaire zelfinductie ($L_{P,max}$ > 1000 H) om lage frequenties ongestoord weer te geven. In het hoog ligt f_{-3H} op 24 kHz als de versterker open lus werkt, dus zonder R24,25. Met deze weerstanden erbij wijzigt het frequentiebereik in het hoog. Als P4 naar links staat wordt f_{-3H} = 54 kHz; staat P4 naar rechts dan is f_{-3H} = 81 kHz.

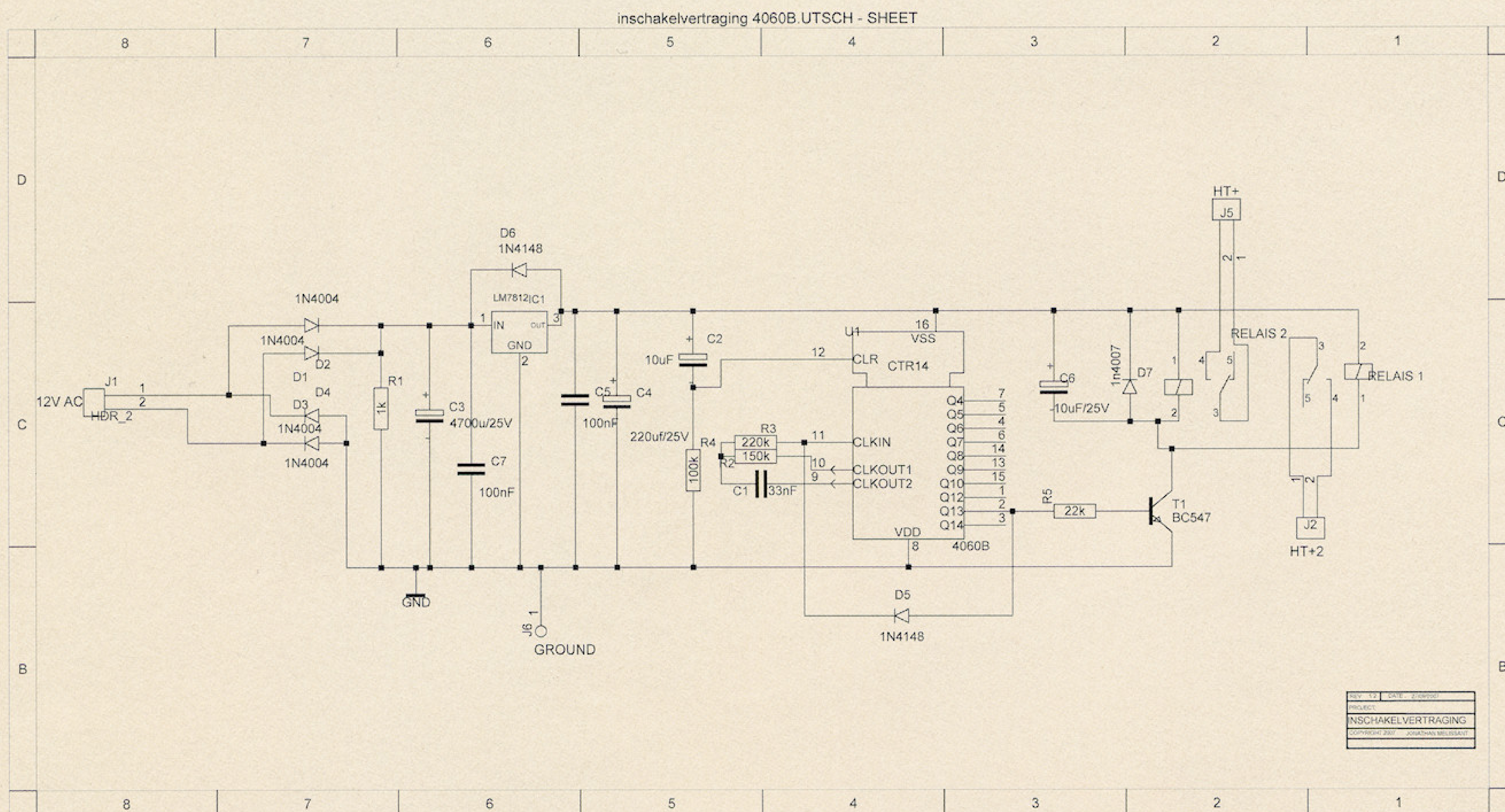
De brom en ruis restspanning aan de luidsprekeruitgang bedraagt slechts 3 mV_{tt} en is dus verwaarloosbaar klein.

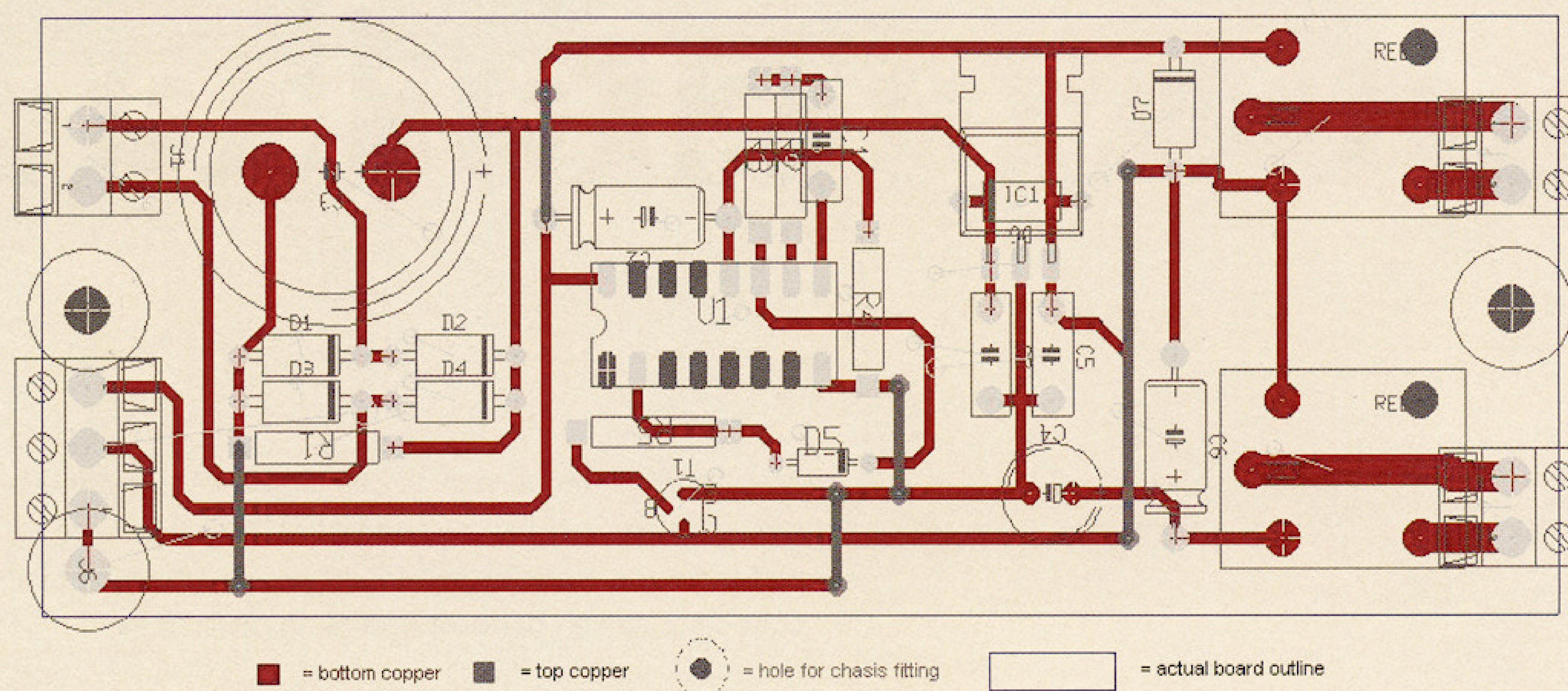


Overzicht bedrading

Inschakelvertraging

Aan de versterker is extra een inschakelvertraging toegevoegd die de hoogspanning na ongeveer 20 seconden via een relais op de plaats van S2 inschakelt. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de HEF4060B 14-traps teller/deler en oscillator van Philips. Door slechts twee weerstanden en een condensator vallen de vertragingstijden soepel in te stellen. Deze gehele schakeling heeft een voedingsspanning van 12 V nodig, die hier door een extra kleine trafo wordt geleverd, want de POW80 heeft die wikkeling niet. Ook is hiervoor een print layout bedacht, die overigens niet in de handel is. Be-





figuur 3:
Schema van de 20 seconden inschakelvertraging

figuur 4:
Voorbeeld van een print van de inschakelvertraging

schouw deze layout als een hulp voor eventueel eigen printontwerp.

Luisterindrukken

Het ontbreekt deze versterker aan niets: veel diepe details, grote open ruimte, stabiel rustig luisterbeeld, enzovoort. Wat nu interessant is zijn de gevolgen van draaien aan P4. Zoals al voorspeld werd, is de basweergave snel als P4 naar links staat, en klinkt de bas warm als P4 naar rechts staat. De typische warme buizenklank wordt dus ook in hoge mate bepaald door de lage dempingsfactor die de meeste buizenversterkers bezitten. Bij oneindige demping is na lang luisteren het geluidsbeeld wat korrelig. Dit is in het boek van Van der Veen al voorspeld en wordt daar gewijd aan deelresonanties in de speakerconus die nu niet meer optimaal gedempt worden maar reflecteren tegen de nu starre spreekspoel. Deze verklaring heb ik niet kunnen bewijzen, maar wel heb ik het aldaar beschreven verschijnsel kunnen horen. Daarom heb ik P4 zelden helemaal links staan en vind ik de optimale balans ergens bij P4 driekwart naar links. Het is smaak en luidspreker afhankelijk, maar met P4 kun je prachtig op een aangename klankbalans afstellen. De ruimte en diepte en klankkleur wijzigen bij mijn speakers nauwelijks als P4 verdraait wordt. Wat ook goed hoorbaar is, is de toename van de detaillering in het geluidsbeeld als de ruststroom door de eindbuizen wordt verhoogd. Bij maximaal 110 mA per eindbuis (vlak bij $P_{a,max}$ = 40 W) is de rust en resolutie extra goed, maar de buizen leven dan niet zo lang. Ik ben met 60 mA per buis ook al helemaal tevreden.

Literatuur, Bronnen

1) *Menno van der Veen: High-End Buizenversterkers 2; hoofdstuk 5.2 en volgt; Segment; ISBN 90-5381-204-0*
2) *www.mennovanderveen.nl sectie 'project' en sectie 'transformatoren'*
3) *voor vragen: jonathanmelissant@quicknet.nl*



50 Watt super triode versterker

DOOR FLORIS PAETS

In het onlangs verschenen boek High-End Buizenversterkers 2 wordt de uiterst complexe Super Triode versterker SPT70 besproken. Kan het niet wat eenvoudiger, terwijl alle goede eigenschappen bewaard blijven? Floris Paets deed onderzoek en inderdaad, het kan stukken eenvoudiger. Dit artikel beschrijft een gemakkelijk nabouwbaar ontwerp met topprestaties.

De schakeling van de super triode versterker heeft iets supers over zich, geweldige eigenschappen in de overtreffende trap. Daarin worden namelijk de eindbuizen op een bijzonder stevige manier aan de ringkern uitgangstransformator gekoppeld. Omdat de eindbuizen en de uitgangstransformator alles van elkaar opmerken, kan door middel van de locale tegenkoppeling een grote lineariteit bereikt worden. Dit stelt stevige eisen aan de voortrappen die de eindbuizen aansturen. Daarin mag geen vervorming opgewekt worden, want anders doe je die goede eindconfiguratie te kort. In 1) worden de eigenschappen volledig beschreven, wat resulteert in een complexe SPT70 schakeling die nagenoeg niet nabouwbaar is. De auteur Menno van der Veen raadt dat zelfs af en adviseert de lezer om ideeën uit zijn schematuur te destilleren en zo zelf een hanteerbare super triode versterker te ontwerpen. Ik heb uitgebreid zijn concepten bestudeerd en zag al spoedig dat hij hier en daar wel wat erg voorzichtig en overdadig te werk ging. Het kan echt simpeler en dat bespreek ik in dit artikel.

Eenvoudige stuurtrap

De essentie van de oorspronkelijke schematuur is dat de voorversterker en fasedraaier en stuurtrap van de eindbuizen zoveel mogelijk laag impedant uitgevoerd zijn. Dan heb je weinig last van Miller capaciteiten en wordt de bandbreedte groter dan het frequentiebereik van de uitgangstransformator. Ik heb die keuze gevolgd, en loste dat op door meer stroom door de voorbuizen te voeren. Hoe groter de stroomsterkte, des te lager zijn de inwendige buisweerstand en de bijbehorende anodeweerstand. In de audioschematuur (figuur 1) is die keuze duidelijk herkenbaar.

Bij buis 1 zijn de anodeweerstanden 2k5, en dat is voor een buizenversterker erg laag. De bovenste eerste buishelft versterkt, terwijl de onderste buishelft het versterkte signaal in fase omkeert. Sommigen zeggen dat de kathodeweerstand van de onderste buishelft ook met een elco overbrugd moet worden, maar die redenering is volgens mij onjuist. Via R8 en R9 wordt namelijk de effectieve versterking van de onderste buishelft gelijk gemaakt aan -1 (instelbaar met P4, de fase omkering

Figuur 1:
Schema van de audio-schakeling van de ST-50

Figuur 2:
Schema van de voedings-schakeling van de ST-50

wordt door het min teken aangeduid). De versterking van de onderste buishelft is van μ = 30 terug gebracht tot één maal. Daardoor is de effectieve anode impedantie van de onderste buis ook dertig maal gedaald en ongeveer gelijkwaardig geworden aan de impedantie bij de bovenste buishelft. Verdere verlaging van de effectieve anode impedantie van de onderste buishelft door een elco parallel aan de onderste kathodeweerstand heeft dan geen enkele zin, want voor de lineariteit werkt het zelfs nadelig.

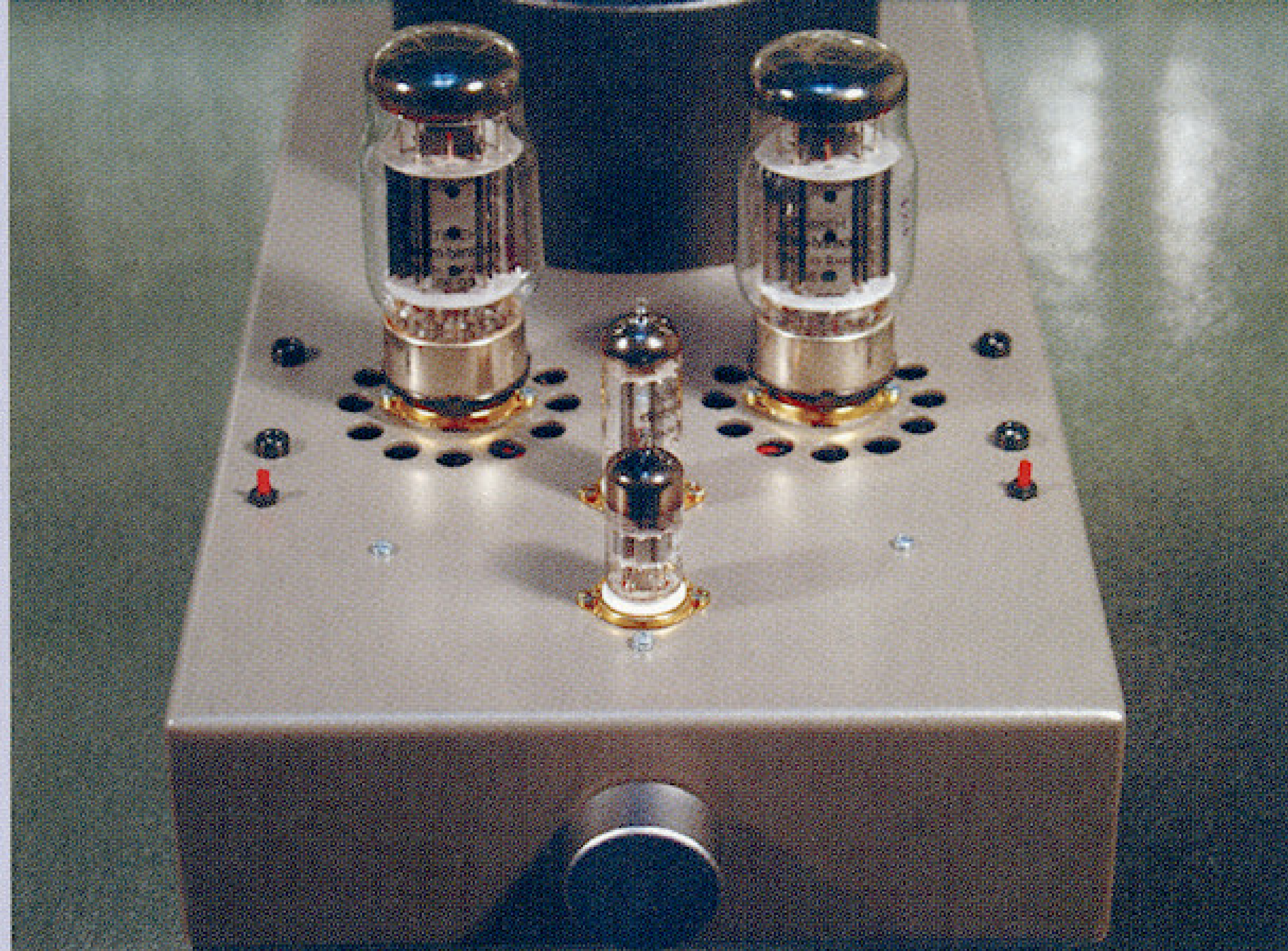
De kathodeweerstand R4 van de versterkende eerste buis is gesplitst in twee delen: R4-a en R4-b. Hierdoor is het mogelijk om op het knooppunt van deze weerstanden het eventuele tegenkoppelsignaal, aangeduid met FB, via R22, aan te sluiten. Zie verderop voor meer details hierover.

Na deze voorversterking en fase inversie wordt het audiosignaal rechtstreeks aan de volgende buis 2 gekoppeld. Terecht wijst 1) er op dat koppelcondensatoren laagfrequente faseverschuiving introduceren die eventuele overall tegenkoppeling instabiel kan maken (motorboating). Dat moeten we niet hebben en daarom is in dit concept ook de rechtstreekse signaalkoppeling gehandhaafd. Daardoor komen de stuurroosters van de tweede buis op ongeveer 70 V te staan en de kathodes op een ietsje positievere spanning. Dit betekent dat de gemeenschappelijke kathodeweerstand R11 een spanning van om en nabij 145 V over zich heeft staan. De stroom door R11 bedraagt dan 145 V / 9 k = 16 mA, dus 8 mA per buishelft. Daarom moet R11 niet te licht worden uitgevoerd en is hier een 5 W type zeker op zijn plaats.

Buis 2 staat in de long tailed schakelwijze (gekoppelde kathodes met daaronder een 'stroombron'). Dit zorgt voor een extra symmetriesering van de stuursignalen voor de eindbuizen. Met P2 valt deze symmetrie eventueel nog iets bij te regelen, maar de schakeling zelf garandeert al dat de symmetrie perfect zal zijn.

Door de grote stroomsterkte van de tweede buis en zijn lage inwendige weerstand, is de schakeling opnieuw laagohmig geworden en is er geen extra kathodevolger meer nodig, zoals in 1) wordt voorgesteld. Dit heeft het prettige gevolg dat er nu ook geen extra gloeidraad wikkeling nodig is, omdat de kathodes van B2 een spanning van slechts 70 V ten opzichte van aarde hebben. Doorslag bij de gloeidraad speelt dan geen enkele rol.

Na B2 zijn er wel ontkoppelcondensatoren nodig. C3 en C4 moeten namelijk voorkomen dat een positieve gelijkspanning op de stuurroosters van de eindbuizen komt te staan.





Frontaanzicht

Aansluitingen achterkant

Wat is super triode eigenlijk?

De essentie van de super triode schakeling is dat er op twee plaatsen, tussen de eindbuis en de uitgangstransformator, zoveel locale tegenkoppeling wordt toegepast, dat de eindbuizen zich als triode buizen gaan gedragen. De versterkingsfactor wordt als die van een triode, maar ook de inwendige weerstand wordt gelijk. De eindbuizen gedragen zich dus als triode, maar er is nog wat extra's aan de hand. Normaal kan een als triode geschakelde pentode maar de helft van het pentode uitgangsvermogen leveren. In de super triode schakeling blijft het pentode vermogen nagenoeg volledig beschikbaar, terwijl alle andere al genoemde eigenschappen echte triode eigenschappen zijn. Deze schakeling is dus een slimme combinatie van veel vermogen en prachtige triode eigenschappen.

Dit wordt bereikt door de schermroosters via R19 en R20 te koppelen aan de ultra lineaire aftakkingen van de uitgangstransformator. Hiermee wordt al een aanzienlijke winst in lineariteit geboekt. Vervolgens worden de kathodes niet aan aarde verbonden, maar aan een extra wikkeling op de transformator. Daardoor treedt er nog eens 10% extra tegenkoppeling op, met de bijbehorende winst in lineariteit zonder verlies van uitgangsvermogen. Wel is dan een grotere wisselspanning op de stuurroosters nodig, maar ook die is vergelijkbaar met de benodigde wisselspanning om een triode aan te sturen. De twee kathodeweerstanden R17 en R18 zijn uitsluitend bedoeld voor het kunnen meten van de ruststroom door de eindbuizen.

Deze schakeling is nog verder uitontwikkeld door Frank Mac Intosh die de kathode wikkelingen identiek maakte aan de primaire wikkelingen aangesloten op de anodes. Zo wordt er 100% kathode tegenkoppeling toegepast, waardoor de lineariteit zo groot is dat de eindbuizen zelfs in klasse B mogen staan. De eindbuizen worden dan nauwelijks warm en hun levensduur is groot.

In de hier besproken schakeling wordt de ringkern uitgangstransformator VDV-4070-CFB toegepast die een grote bandbreedte bezit, zowel richting lage als hoge frequenties. De grote primaire zelfinductie zorgt voor onvervormd diep laag weergave. De geringe lekinductie Lsp van ringkern trafo's gekoppeld aan een lage interne primaire capaciteit Cip zijn beiden de hoofdoorzaak van het uitmuntende gedrag van deze speciale transformator.

Aan de secundaire kant is een extra belasting van R21 + C7 opgenomen om stabiliteit bij hoge frequenties te garanderen. Bij de meeste luidsprekers loopt namelijk de effectieve impedantie op naarmate de frequentie hoger wordt. Daardoor wordt in de omgeving van 100 kHz en hoger de transformator secundair nauwelijks belast, wat tot instabiliteit aanleiding kan geven. R21 plus C7 heffen deze instabiliteit op.

Ook is het mogelijk om totaal tegenkoppeling toe te passen met R22. Nu is de combinatie van locale plus totale tegenkoppeling gehoorsmatig niet altijd gunstig. De weerstand R22 heeft daarom bewust geen waarde gekregen. Het beste kan men zelf experimenteren beginnend bij R22 = 10 kOhm en lager, waardoor de totale tegenkoppeling steeds meer toeneemt. Op het gehoor afstemmen is volgens mij de beste methode; ik heb zelf R22 niet gebruikt omdat de lineariteit en openheid al optimaal zijn.

De voeding

In de schakeling van de voeding zijn een paar bijzonderheden aan te wijzen. De voedingstransformator is een ringkern type met uiterst gering magnetisch lekveld. Daardoor kon ik de uitgangstrafo op het chassis en de voedingstrafo onder het chassis met één hoofdschroef vast zetten. Normaal moet je dat met EI-trafo's nooit doen, want het lekveld van de voeding dringt dan rechtstreeks in de uitgangstrafo door, met brom als het gevolg. Met de hier gebruikte trafo's treedt dat effect niet op, want er is nauwelijks een magnetisch lekveld. Opmerkelijk is de plaatsing van enkele 10 nF condensatoren bij de hoogspanningswikkeling. De eerste twee staan parallel aan de secundaire wikkeling en blokkeren daardoor hoogfrequent stoorsignalen die van de netspanning afkomen. Na de gelijkrichting volgt opnieuw een 10 nF condensator die eventuele schakelpulsen van de diodes hoogfrequent effectief naar aarde afvoert. In principe doet de grote elco van 330 µF dat ook, maar een snelle afzonderlijke C van 10 nF doet het nog beter.

De eerste buis krijgt een gestabiliseerde spanning V2 = 100 V aangeboden. Stabilisatie met een gewone zenerdiode is hier echt voldoende terwijl de daarover geplaatste elco van 100 µF de zenerruis effectief en voldoende kortsluit.

De negatieve hulpspanning is zwaar gebufferd met 10.000 µF. Er loopt daar een aanzienlijke stroom en enige stoorspanning in de voortrap bij buis 2 is echt ongewenst. Na buis 1 is de versterker symmetrisch uitgevoerd, waardoor invloeden van rimpelspanningen op Vneg automatisch gecompenseerd worden, maar toch: voorkomen is beter dan genezen.

De gloeidraden zijn symmetrisch aan aarde gekoppeld door twee weerstanden van 100 Ohm en verder valt er over deze voeding niet zoveel meer te zeggen.

Meetresultaten

Bij de meet evaluatie zijn de ruststromen door de beide eindbuizen ingesteld op I0 = 60 mA. Er staat dan in rust een spanning van 600 mV over R17 en R18. De maximale ruststroom mag 40 W (anode dissipatie) gedeeld door 385 V (V0) = 104 mA bedragen, maar dan staan de anodes van de eindbuizen licht rood te gloeien en is hun levensduur kort.
De beide anodes van buis B1 hebben in rust een spanning van 77 V ten opzichte van aarde. De beide anodes van buis B2 staan op ongeveer 234 V ten opzichte van aarde. Bij zorgvuldige afregeling van de ruststromen, zodat ze exact (binnen 0,1 mA) aan elkaar gelijk zijn, verschijnt er op de luidsprekeruitgang een rest brom signaal van 3 mV_{tt}. Deze lage waarde is niet hoorbaar in de luidspreker, zelfs niet met het oor er pal tegen aan.
Als een luidspreker van 4 Ohm op de uitgang wordt aangesloten, versterkt de gehele versterker precies 50 maal. De ingangsgevoeligheid bedraagt dan 283 mV en dat is een vriendelijke waarde. Alle soorten bronnen, inclusief CD, kunnen rechtstreeks op de ingang worden aangesloten en een extra voorversterker is niet nodig. Gaat men met R22 extra tegenkoppelen, dan wordt de ingangsgevoeligheid 1 of 2 V en dan is een voorversterker wel gewenst.
Het -3dB frequentiebereik van de versterker start bij 8 Hz (invloed van C3,4 en R13,14) en loopt door tot 60 kHz. Ik had verwacht dat aan de hoogfrequente kant het bereik wat groter zou zijn, omstreeks 100 kHz. Tot nu toe heb ik de oorzaak van de 60 kHz niet kunnen achterhalen, vermoedelijk heeft de lay-out hiermee te maken. In een later stadium heeft Menno van der Veen de versterker ook nog eens doorgemeten. Hij ontdekte dat bij de hier gebruikte instelling het tweede orde filter van Lsp en Cip van de uitgangstrafo en eindbuizen een Q-factor heeft de zelfs kleiner is dan 0,5. Dit betekent dat de versterker hoogfrequent meer dan kritisch gedempt is, en daardoor ook een geringer frequentiebereik heeft. De tijd ontbrak echter om hier nader aandacht aan te besteden en gehoorsmatig is een -3 dB bereik tot 60 kHz meer dan voldoende, vooral omdat het bereikt wordt zonder enige totaal tegenkoppeling.
De invloed van P2 (symmetrie fasedraaier) is gering, zoals voorspeld werd. Buis B2 symmetriseert echt de eventuele afwijkingen van de fasedraaier. Een en ander is duidelijk zichtbaar in de meting van de blokgolfweergave met een frequentie van bijvoorbeeld 70 Hz, uitgestuurd tot net aan het maximum vermogen. Er is geen enkele uitslingering van deze blokgolf op het oscilloscoopscherm zichtbaar.
Ik had bij de berekening van deze versterker bepaald dat het uitgangsvermogen maximaal 50 W zou bedragen. Vandaar de naam ST50. De metingen lieten iets minder vermogen zien, namelijk 42 W en 46 W als in de voeding de weerstand van 15 Ohm na S2 overbrugd wordt. In de berekeningen had ik V0 op 405 V gesteld. Onder belasting wordt V0 echter 385 V, waarmee de afwijking tussen berekening en meting voldoende wordt verklaard. De voedingsspanning zakt iets meer naar beneden dan ik had verwacht. Bij nader inzien kan men de eerder genoemde 15 Ohm weerstand misschien beter weglaten, alhoewel hij keiharde inschakelstromen bij de voeding voorkomt. Zoals gewoonlijk is er aan alles een plus en een min kant.
De gemeten uitgangsimpedantie bedraagt Z_{uit} = 2,8 Ohm. Dus de dempingsfactor DF_4 = 4 / 2,8 = 1,4. Dit is een typische buizenwaarde en toch, ondanks dat, klinkt de basweergave snel en doortekend.

Subjectieve evaluatie

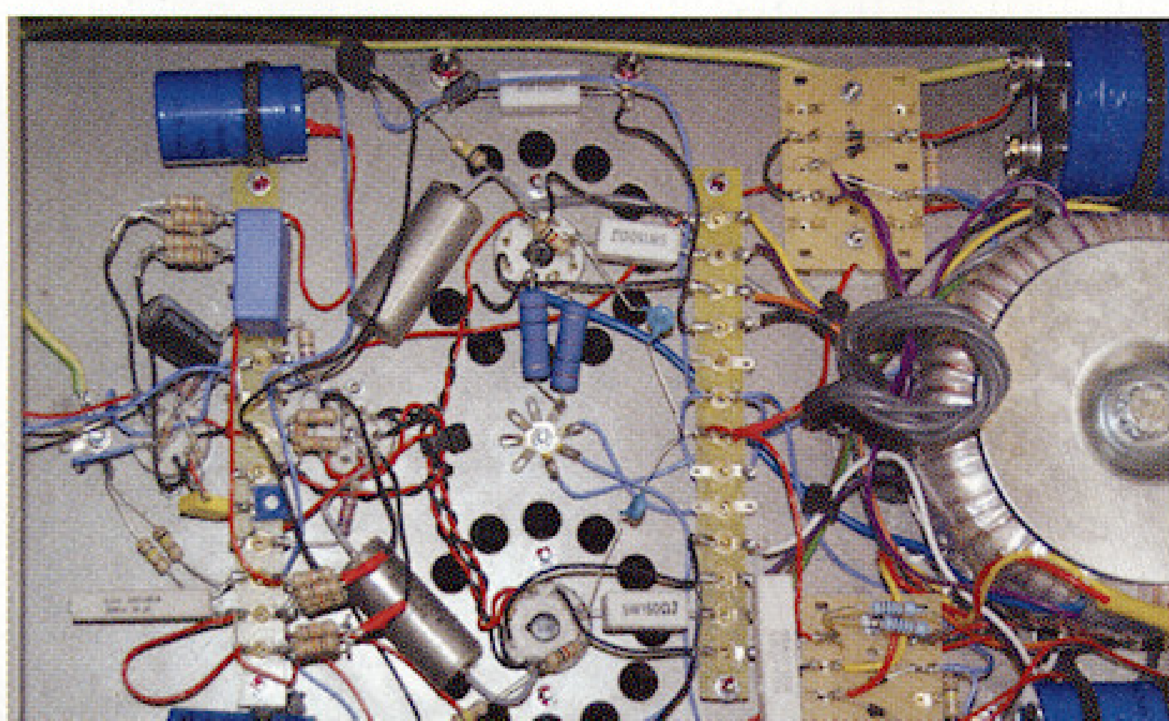
De versterker klinkt doodstil, geen brom of ruis te horen. Hij klinkt niet alleen bij de bastonen snel, maar ook bij alle frequenties. Het luistergedrag is alsof je naar een klasse A versterker luistert, terwijl we hier echt met een klasse AB versterker hebben te maken. Als je de ruststromen nog groter maakt, dan breidt het klasse A werkgebied zich uit. De door mij gebruikte 60 mA is een heel goede balans tussen levensduur van de buizen en detaillering en rust van het geluid. Een stroom van 100 mA is iets beter, maar je ziet de buizen voor je ogen slijten, en dat voel je in je beurs. Het ruimtelijk beeld is opmerkelijk open en gedetailleerd en geeft de instrumenten met juiste dimensie weer. De weergave van pulsvormige signalen is vlekkeloos. Er verschuift niets in het geluidsbeeld, de versterker blijft volledig in rust. De ST50 produceert geen hoorbare harmonische of intermodulatie vervorming. Op alle niveaus en alle frequenties blijft het geluid strak en schoon. Voor mij is de ST50 een paradepaardje, bloedmooi!

Met dank aan

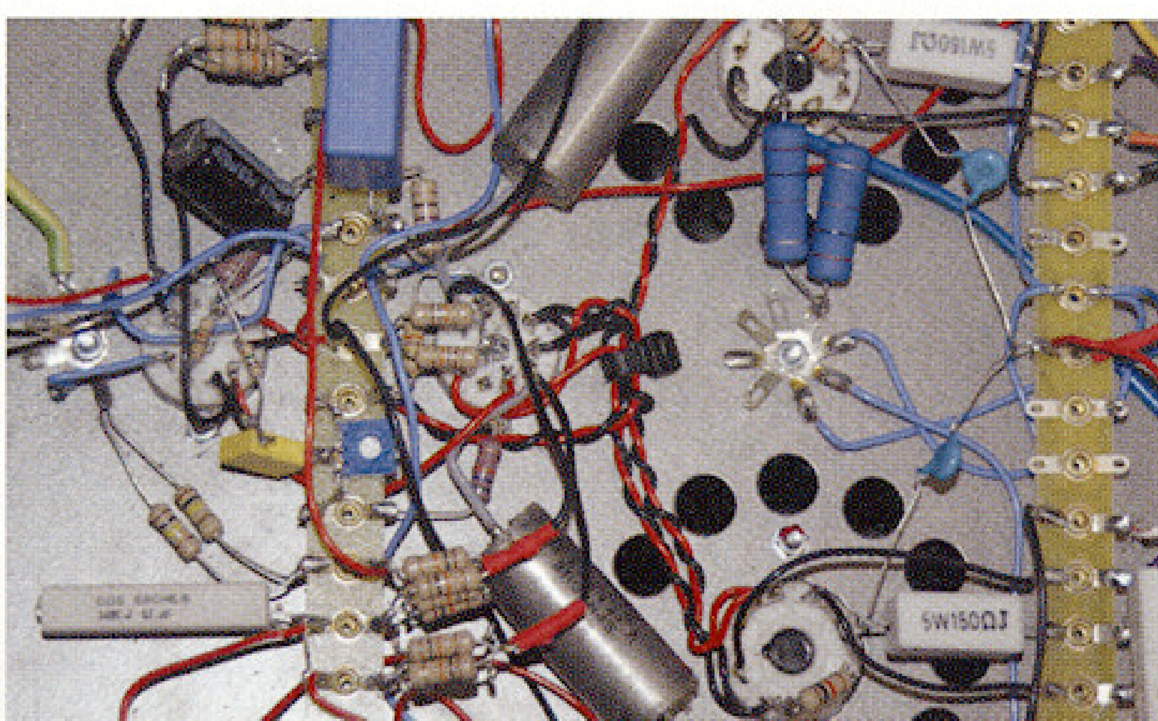
Bij de bouw van deze versterker heb ik de nodige steun gekregen. De medewerkers van het bedrijf Brakel Interieurgroep (zie 3)), met name de tekenaar Edwin Nater, hebben mij geholpen om de prachtige stalen kast te maken. Menno van der Veen heeft de versterker ook doorgemeten en subjectief beoordeeld. Hij beaamde de door mij alhier genoemde resultaten. Hij vond zijn eigen SPT70 ontwerp iets beter qua rust in de voeding en automatische instelling van de ruststroom, maar de ST50 vond hij veel gemakkelijker nabouwbaar. Dus heb ik dat doel bereikt.

Literatuur, Bronnen

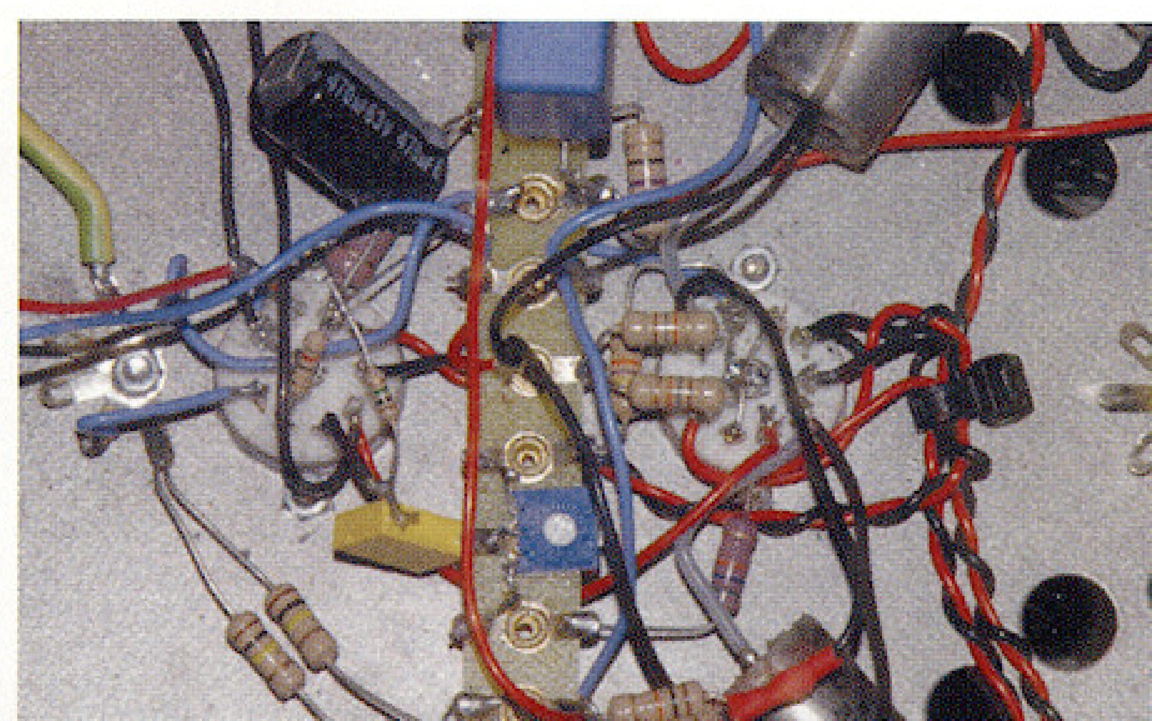
1) Menno van der Veen: "High-End Buizenversterkers 2"; hoofdstuk 8; Segment; ISBN 90-5381-204-0
2) vragen: fpaets@gmail.com
3) www.brakelgroup.com
4) www.amplimo.nl : bestellen van de trafo's



Buisbedrading-1



Buisbedrading-2



Detail stuurbuizen



300 Watt buizen eindversterker

DOOR RENCO TERWEIJ

Buizenversterkers met een vermogen tot ongeveer 50 Watt zijn redelijk gemakkelijk te maken. Heel anders wordt het bij 300 Watt uitgangsvermogen. De trafo's zijn dan extreem zwaar en groot, er lopen fikse stromen en strooivelden, aardepunten kun je niet meer vrij kiezen, enige instabiliteit veroorzaakt echt voorwerk. De basgitarist Renco Terweij van de punkband Gewapend Beton uit Amsterdam beschrijft hier zijn ontwerp. Voor een subwoofer is deze versterker ook uitermate geschikt.

Hoe groter het geluidsvolume en hoe lager de frequenties, des te meer versterkervermogen nodig is. Hoge tonen kun je vaak nog goed met kleine vermogens weergeven. Lage tonen vragen niet alleen grote luidsprekers, maar door hun aard ook extra grote transformatoren en stromen. Bij versterking van bijvoorbeeld een basgitaar in zalen, werkt men tegenwoordig met lichtgewicht schakelende transistorversterkers van zo'n 2000 Watt. Je bent dan wel gek als je met buizen gaat werken, je roadies zijn echt niet blij met het zware gewicht van zo'n versterker. En toch prefereer ik buizengeluid, ook voor de basgitaar. Dat diepe ronken, dat zware volle geluid klinkt echt anders dan de strakke weergave van de transistorversterker. Uit die subjectieve voorliefde is dit ontwerp geboren.

De uitgangstrafo (zie 1)) is een speciaal EI-type voor basweergave. De EI-kern is hier geen probleem, immers pas bij de hoge frequenties beginnen de redelijk grote lekvelden van de trafo een hoofdrol te spelen. In het basbereik hoef je je daar niet druk om te maken. Dan is juist een grote primaire zelfinductie nodig. Een geringe spleet (de meeste EI-trafo's bezitten impliciet zo'n kernspleet) is ook voordelig om te voorkomen dat de kern in de verzadiging gaat bij sterk eenzijdig gerichte pulsvormige audio signalen. Vooral basgitaren leveren die; denk aan het typische plukken van of het slaan op de snaren. Die klanken zijn echt geen symmetrische spanningen. De voedingstrafo is een ringkern type (zie 2)) en dat is nu wel heel erg prettig, want deze zijn minder zwaar dan hun EI equivalenten. De versterker is gebouwd op een proefchassis dat door Koch (zie 3)) beschikbaar is gesteld. Dit chassis is niet algemeen beschikbaar, dus zelfbouwers zullen hun eigen behuizing moeten maken. De eindbuizen zijn EL34 of 6550 van Svetlana en voor het grote vermogen zijn er zes nodig die drie bij drie parallel in push pull geschakeld staan. De eindbuizen worden redelijk laagohmig aangestuurd. Dit is nodig omdat bij oversturing de stuurroosters stroom gaan trekken en je wilt dan geen instabiliteit doordat het werkpunt zou wegdriften.

Alleen de eindversterker wordt in dit artikel beschreven. Deze kan door een mengpaneel worden aangestuurd of door een losse basgitaar voorversterker of door een elektronisch cross-over filter bij subwoofer toepassing. In een later stadium zal in deze eindverster-

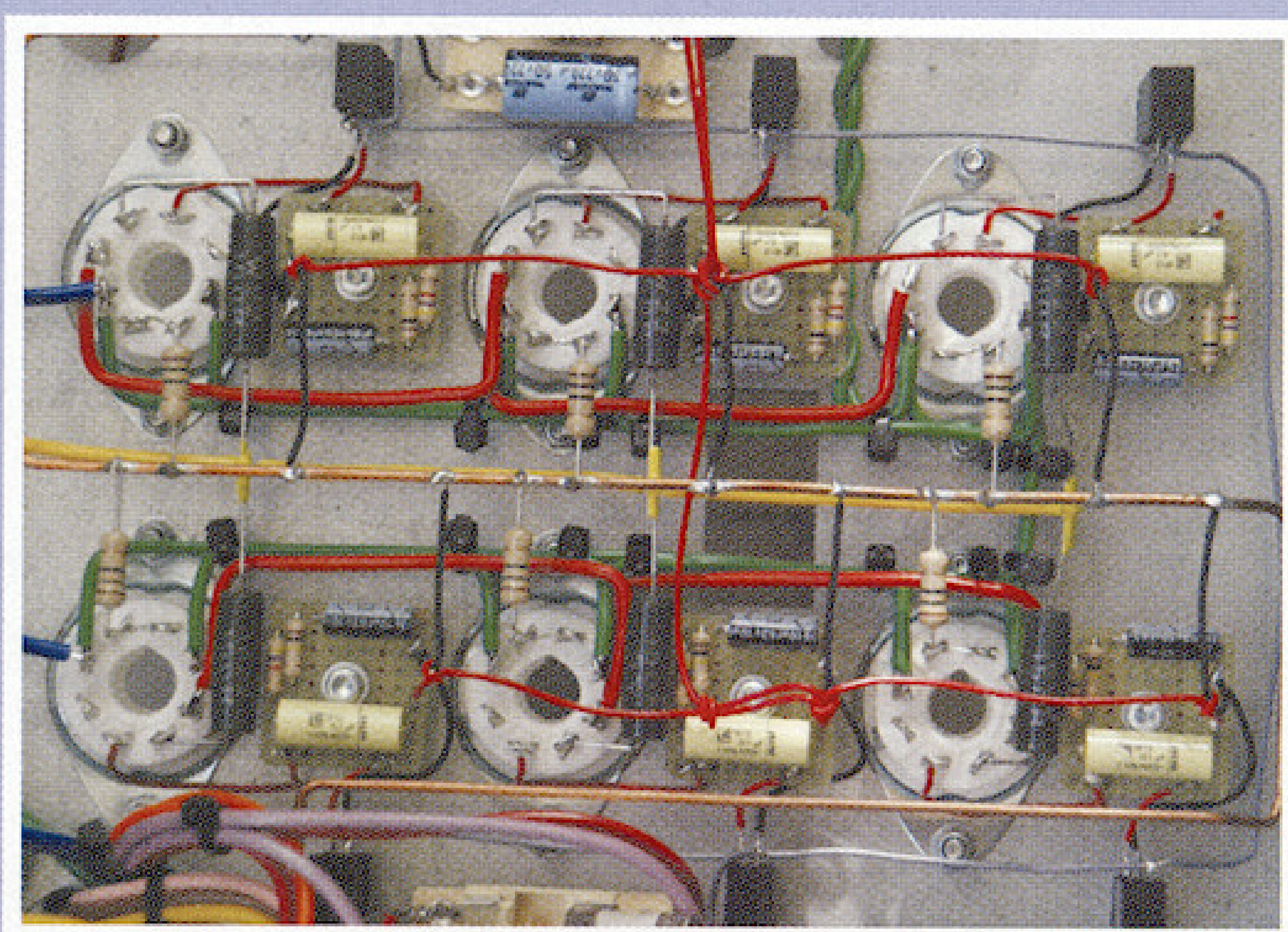
ker nog een specifieke basgitaar voorversterker worden gebouwd, maar dat valt buiten het kader van dit artikel.

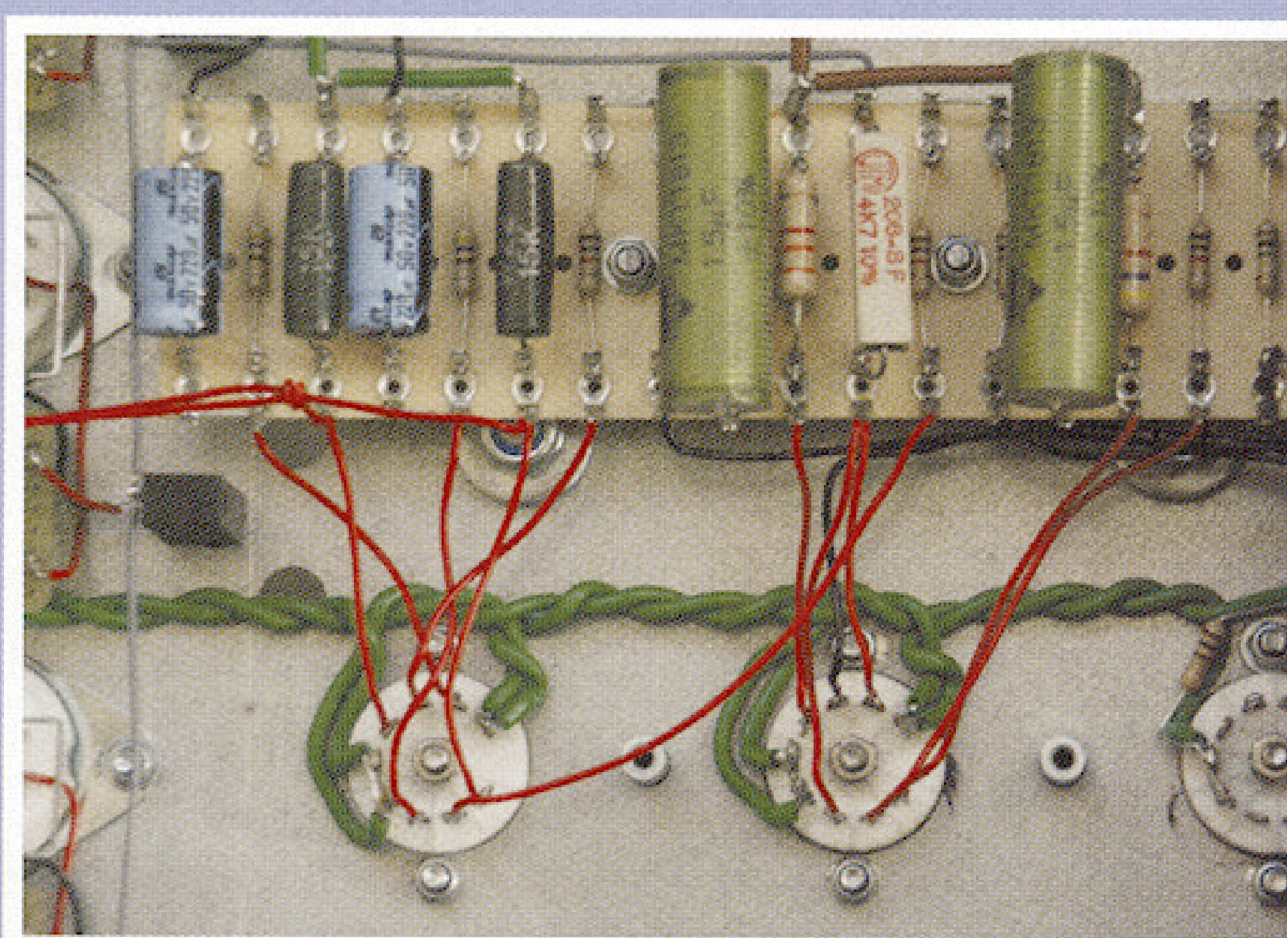
Stuurtrap

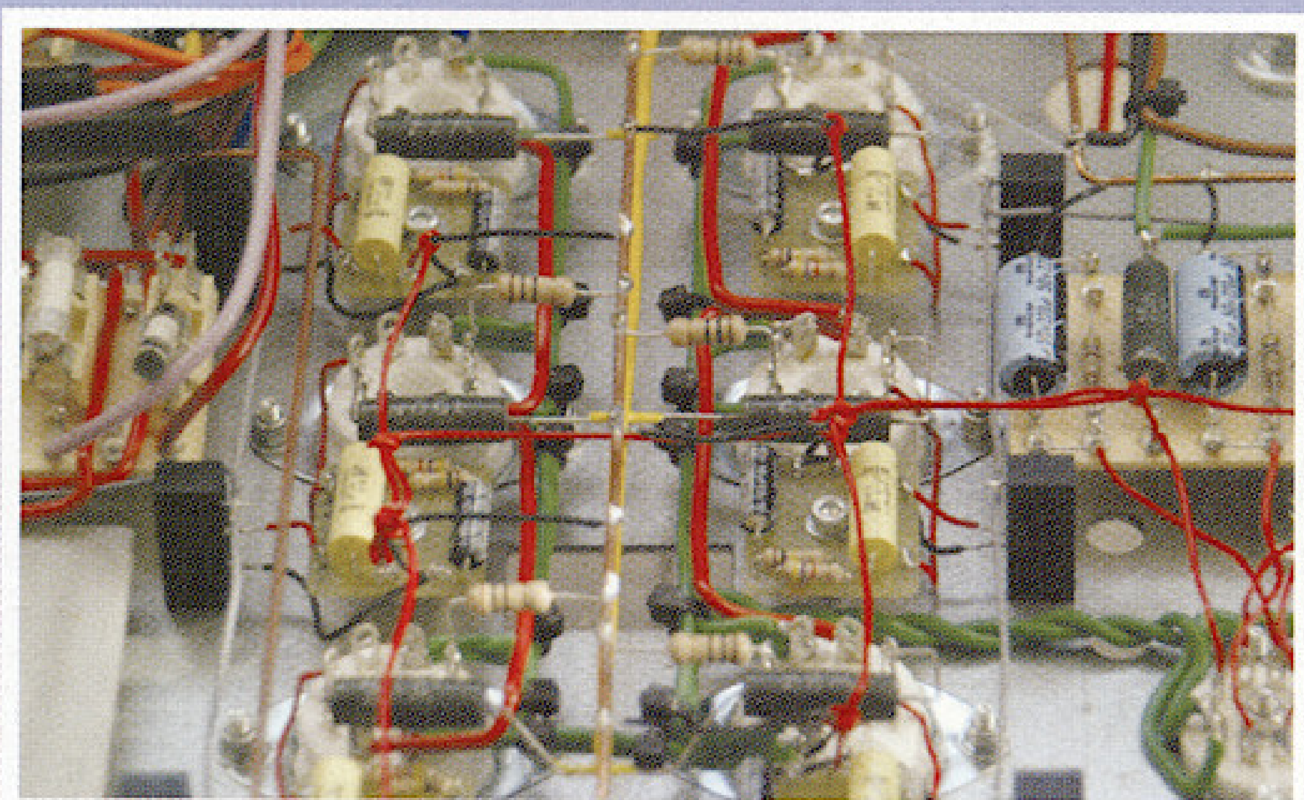
In figuur 1 wordt de eenvoudige schakeling getoond die de eindbuizen gaat aansturen. Er is niet zoveel versterking nodig omdat de ingangsgevoeligheid 2 Vrms bedraagt, terwijl de eindbuizen 35 Vrms nodig hebben op hun stuurroosters. Dus een totale versterkingsfactor van ongeveer 18 maal is voldoende. De eerste buis B2 versterkt 5 maal en is ook direct de fasedraaier. De long tailed schakeling heeft een niet perfecte stroombron R5 aan de beide kathodes hangen, waardoor herstel van symmetrie nodig is. Daarom hebben de anodeweerstanden R3 en R4 een iets verschillende waarde.
Direct na deze eerste versterking en fasedraaiing volgen naar verhouding wel erg grote koppelcondensatoren C1 en C2. Hun waarde is zo groot om geen conflict te krijgen bij eventuele overall tegenkoppeling, die je kunt aansluiten op het dan van aarde losgemaakte rooster van B2-b via een spanningsdeler. Verderop in deze eindversterker zijn nog meer koppelcondensatoren aanwezig die ook een hoogdoorlaat filter vormen. De eindbuizen met de zelfinductie van de primaire wikkeling vormen het daarop volgende extra hoogdoorlaat filter. In totaal zijn er dus drie eerste orde filters aanwezig en hun kantelpunten (-3 dB frequenties) horen ver uit elkaar te liggen. Anders ontstaat er bij tegenkoppeling per definitie instabiliteit. Het eerste filter met C1-R6 en C2-R7 heeft daarom een -3 dB frequentie van 0,1 Hz. Bij de bespreking van de eindtrap worden de andere filters besproken en ontstaat er zicht op de samenhang van de verschillende frequenties.
De volgende buis (ECC99) versterkt 20 maal en heeft door zijn redelijk hoge ruststroom en lage anodeweerstanden een lage uitgangsimpedantie, die nodig is om de eindbuizen stevig aan te kunnen sturen. Om de uitgangsimpedantie zo laag mogelijk te maken zijn ook de kathodeweerstanden R12,13 via de elco's C3,4 ontkoppeld. De twee uitgangen A en B van deze stuurtrap worden naar de eindbuizen gevoerd.
De totale versterking van de gehele stuurtrap bedraagt dus 5 x 20 = 100 maal, terwijl 18 maal voldoende is. Daardoor is het mogelijk om maximaal 15 dB extra tegen te koppelen. Zoals al eerder is aangegeven wordt in dit ontwerp van die mogelijkheid geen gebruik gemaakt.

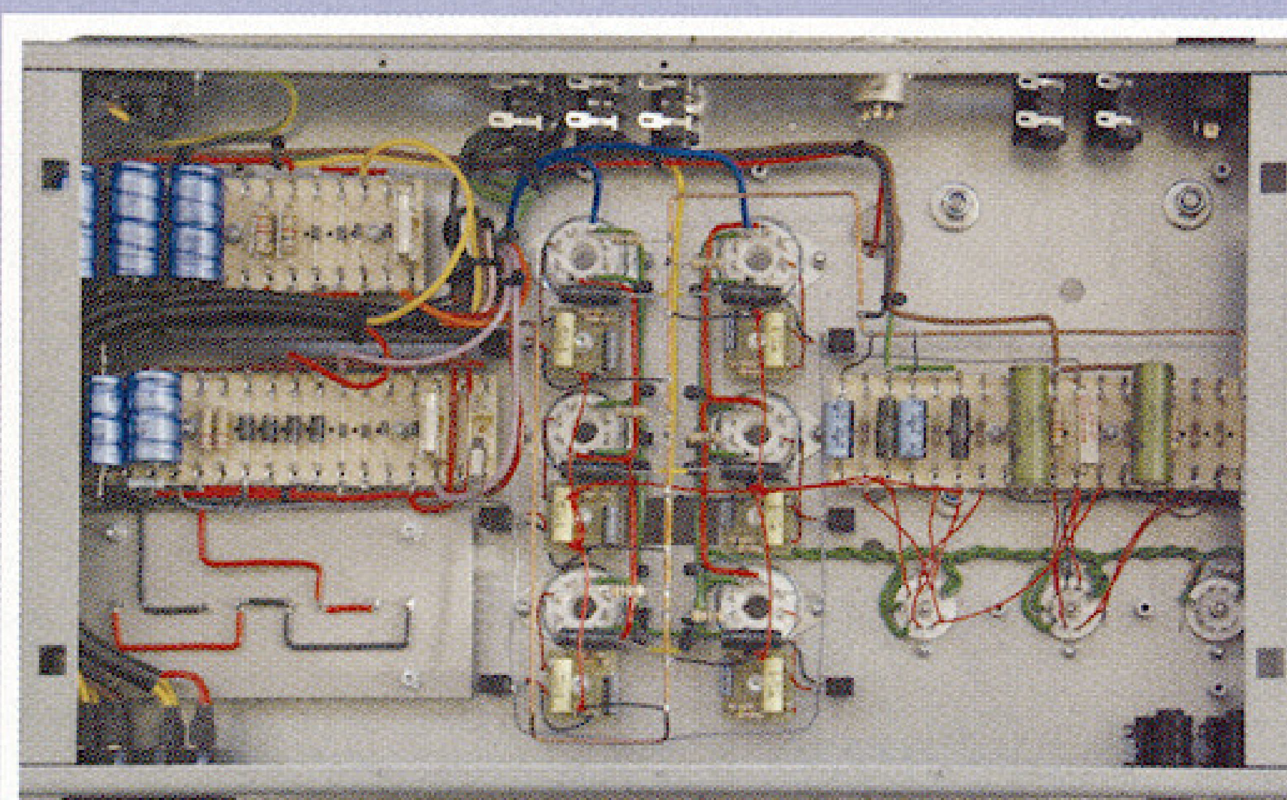
Eindtrap

Enige studie van het schema van de eindtrap laat snel zien dat er zes maal dezelfde buis met omringende componenten worden gebruikt. De bovenste drie buizen B4,5,6 staan parallel evenals de drie onderste B7,8,9. De bovenste buizen krijgen op hun stuurroosters het signaal -A- van de stuurtrap, terwijl de onderste het signaal -B- ontvangen. Per buis kan met een trimpot (neem hier voor een 10-slags type) de negatieve voorspanning op de stuurroosters worden ingesteld. De rustroom per buis bedraagt 25 mA, dus over elke kathodeweerstand komt een rustspanning van 250 mV te staan bij correcte afregeling.
Opmerkelijk is de redelijk hoge waarde van de voorschakelweerstand (gridstopper) bij elk stuurrooster, namelijk 22 kOhm. Dit is gedaan om bij oversturing, als de stuurroosters stroom gaan trekken, voldoende spanningsval te creëren. Daardoor regelen de stuurroosters zichzelf terug en wordt oversturing nooit hard, maar heel zacht. Voor een goede klankvorming is deze hoge voorweerstand echt belangrijk.







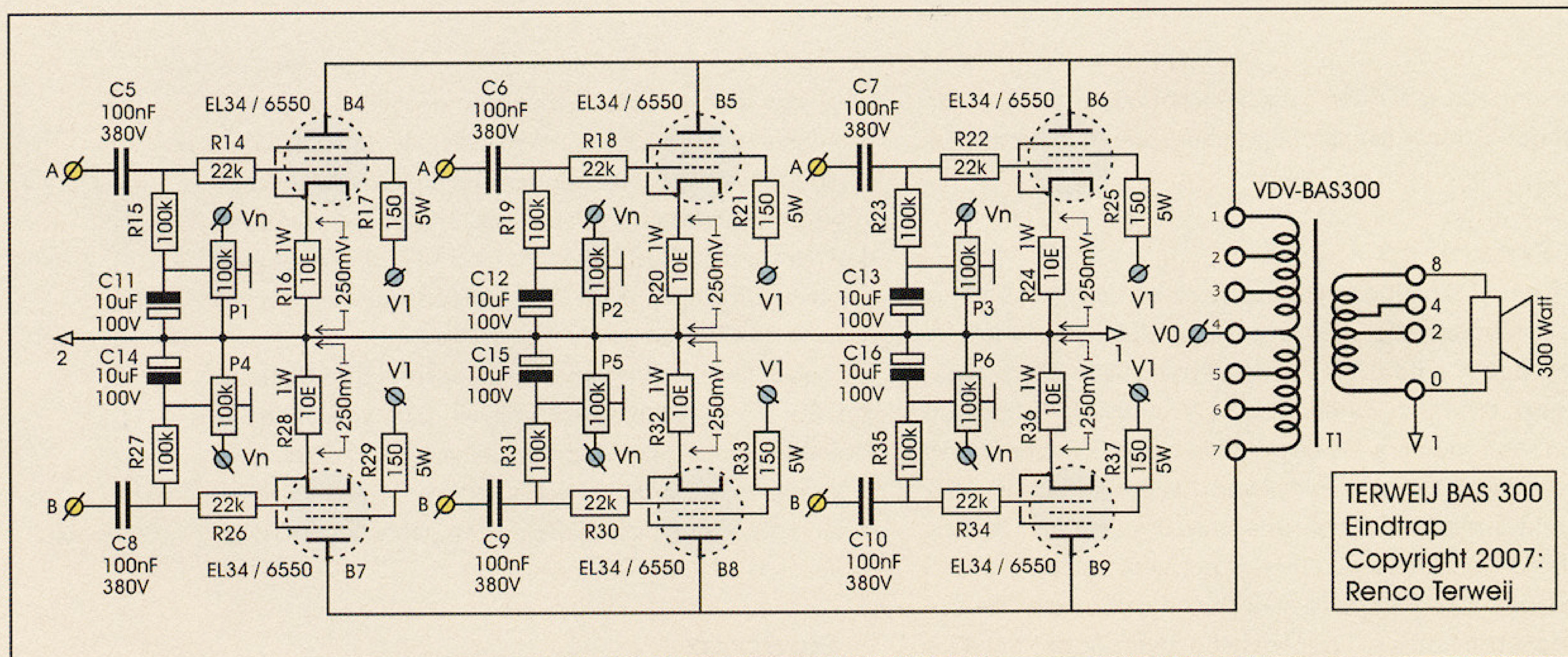


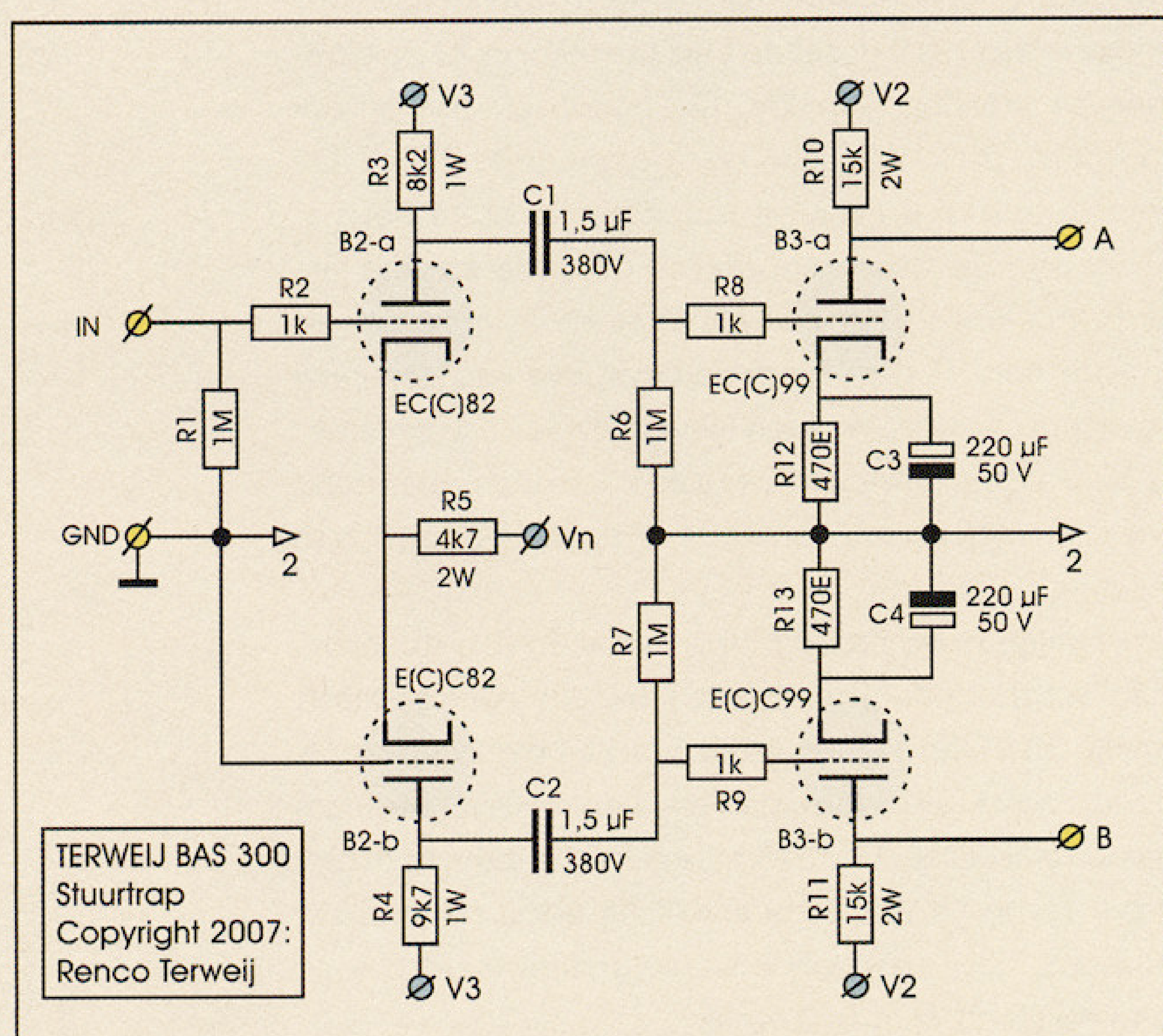
Bedrading bij de eindbuizen

Bedrading van de stuurtrap

Bedrading eindbuizen in perspectief

Overzicht aan de onderkant





Figuur 1: Schema eindtrap

Figuur 2: Schema stuurtrap

Elk schermrooster is via een bijbehorende 150 Ohm weerstand op de voedingsspanning V1 aangesloten.
De eindbuizen staan echt als pentode ingesteld, met per buis een inwendige weerstand van ongeveer 15 kOhm. Drie staan er parallel, dus de hele bovenste sectie heeft een inwendige weerstand van 5 kOhm, evenals de onderste sectie. De buizen in totaal vertegenwoordigen dan een impedantie van 10 kOhm, die een primaire impedantie Zaa = 1k7 van de uitgangstrafo aanstuurt. Berekenen we nu 10k parallel aan 1k7, dan levert dat op: Z-equivalent = 1,45 kOhm. Met deze Z-equivalent en de zelfinductie $L_{p,max}$ = 700 H van de primaire wikkeling kan nu de -3 dB frequentie van deze hoogdoorlaat sectie berekend worden. Dat levert op: f-3 dB = 0,33 Hz. Houden we ook nog rekening met het feit dat de primaire zelfinductie maximaal 700 H is en minimaal 23 H, doordat de relatieve magnetische permeabiliteit van de kern ongeveer een factor 30 kleiner wordt bij maximum vermogen, dan komt bij $L_{p,min}$ de f-3 dB op 10 Hz te liggen. Deze waarde is uitstekend omdat hij ruim genoeg onder het werkgebied van de laagste bastonen ligt.
Op dezelfde manier kunnen we ook de koppelcondensatoren C5 tot en met C10 beschouwen. Deze zijn elk belast met een roosterweerstand van 100 kOhm, wat een f-3 dB van 16 Hz oplevert.

Nu wordt het duidelijk waarom de stuurtrap zulke grote koppelcondensatoren gebruikt. In de voortrap is f-3 dB gelijk aan 0,1 Hz. Het trafodeel levert een vermogens afhankelijke f-3 dB op die ligt tussen 0,33 Hz en 10 Hz. In de eindtrap is f-3 dB gelijk aan 16 Hz ten gevolge van de koppelcondensatoren. Onder alle condities overlappen al deze f-3 dB frequenties elkaar niet, zodat geen keihard derde orde hoogdoorlaat filter ontstaat, met alle nadelige gevolgen van dien als men tegenkoppeling toe zou passen.
De uitgangstrafo heeft meerdere primaire taps. De gehele primaire is in zes gelijke secties verdeeld, dus in principe zou een 33 % Ultra Lineaire schakelwijze mogelijk zijn, met de bovenste schermroosters op tap 3 en de onderste schermroosters op tap 5. Hoe mooi het ook lijkt, het kan niet, want V0 bedraagt 665 V en zo'n hoge spanning kunnen de schermroosters niet veilig verdragen. Dus: van de trafo mag ultra lineair, van de schermroosters mag het niet, dus daarom zet ik de schermroosters gewoon op V1 = 420 V.
De secundaire wikkeling heeft aansluitingen voor luidspreker impedanties van 2 en 4 en 8 Ohm. De waarde van 2 Ohm lijkt laag, maar deze komt in de praktijk redelijk vaak voor omdat daar luidsprekerkasten aan elkaar parallel geschakeld worden.

De voeding

De ringkern voedingstransformator moet nogal wat spanningen aanleveren. Primair moet de netspanning kunnen lopen van 100 V (Japan) tot 230 V (Europa). Door parallel-serie schakeling zijn alle huidige netspanningen over de hele wereld te realiseren. Neem voor de zekering Z1 (de netzekering) echt een super traag type, of koop I2t zekeringen bij Amplimo. Deze kunnen de redelijk grote inschakelstroom van de voedingstrafo goed opvangen en knallen er niet te snel uit.
De eerste secundaire wikkeling levert de hoogspanning voor de eindbuizen. Door serie-parallel schakeling van de vier bufferelco's van 220 µF wordt een totale effectieve capaciteit van 220 µF bereikt, terwijl de werkspanning daarvan (2 x 385 V) de effectieve spanning V0 voldoende overstijgt. De bleeder weerstanden van 220 kOhm zorgen ervoor dat de spanning V0 gelijkmatig over de condensatoren wordt verdeeld. Ook hebben

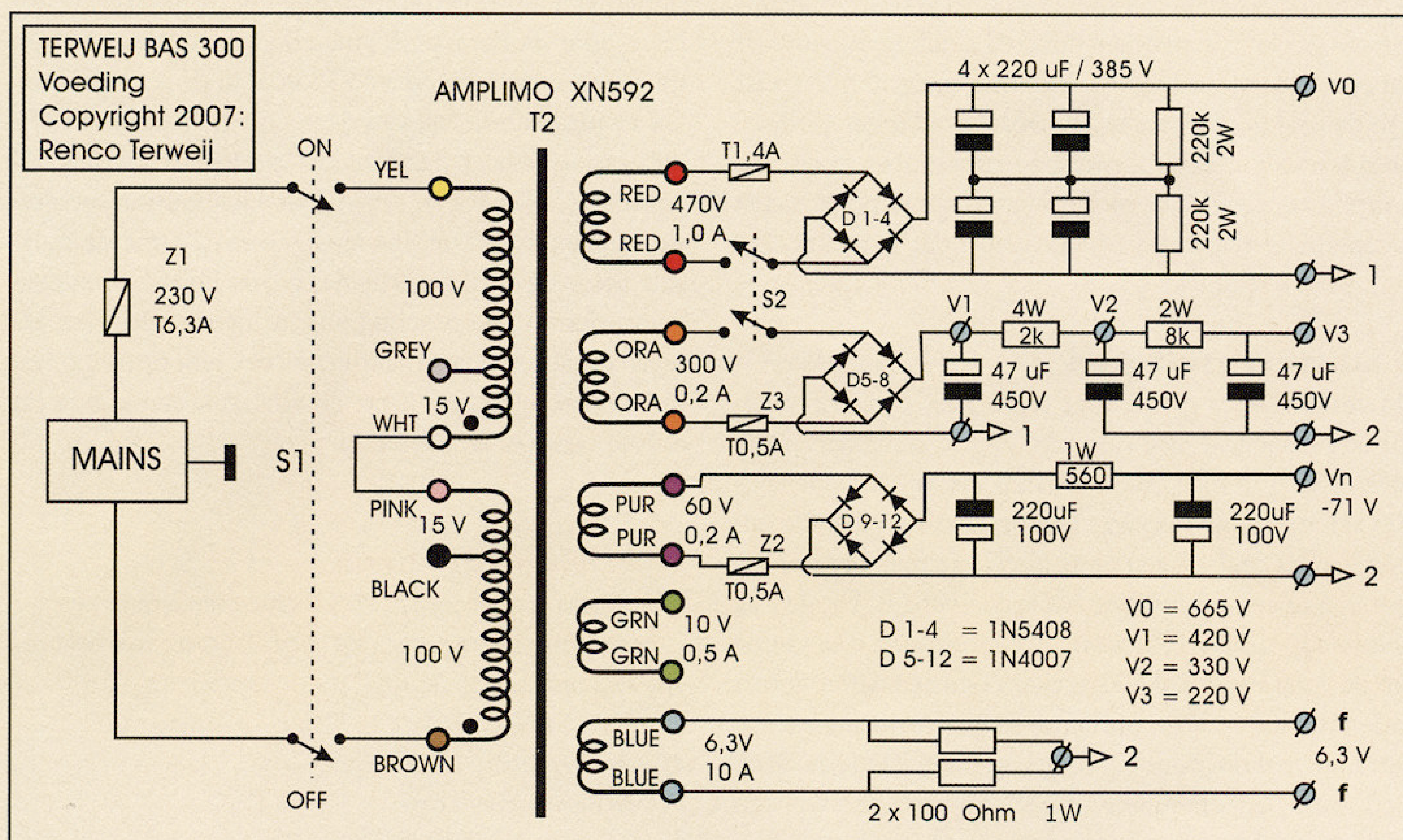
ze de functie van ontlaad weerstanden als de versterker wordt uitgeschakeld.Neem voor de zekering van deze spanning ook een traag type.
De tweede wikkeling levert de spanningen voor de schermroosters van de eindbuizen en van de voortrappen. Let hier op de aardepunten. Aardepunt 1 hoort bij de hoogspanning en de spanning voor de schermroosters. Daar lopen de grote stromen. Aardepunt 2 hoort bij de stuurtrap, daar lopen kleine stromen. Door deze twee aardepunten gescheiden te houden (onderling wel doorverbinden via een enkele draad) wordt het doordringen van grote stroomvariaties (de eindtrap) in het gevoelige deel van de schakeling (de stuurtrap) voorkomen. De zekering van dit voedingsgedeelte moet ook traag zijn.
De derde wikkeling levert de negatieve voorspanning voor de stuurroosters van de eindbuizen en de 'stroombron' R5 aan de kathodes van B2. Dubbele gelijkrichting en dubbele buffering via een C-R-C sectie is hier echt nodig om doordringen van rimpelspanningen in de versterker te voorkomen. Ook hier is een zekering aanwezig; de wet eist het omdat de spanning groter is dan 40 V, maar het liefst zou ik hier de zekering weglaten. De negatieve voorspanning mag namelijk nooit uitvallen, daarom heb ik deze zekering wat te ruim gedimensioneerd.
Dan is er nog een extra wikkeling voor eventuele relais in een voorversterkersectie, maar voor deze eindversterker speelt dat nog geen rol.
De gloeidraadspanning met fikse stromen tot 10 A is ongezekerd omdat deze lager is dan de 40V-eis en de aarding ervan is symmetrisch in het midden met twee 100 Ohm weerstanden.

Aanwijzingen voor zelfbouw

De foto's tonen voldoende duidelijk hoe ik de versterker heb gebouwd. Belangrijk is de lange stevige blanke aardedraad, die vanaf de hoofdvoeding (aarde-1) langs alle buizen loopt. Ieder aardepunt is direct met deze aardedraad verbonden. Het uiteinde ervan (aarde-2) is bij buis 2 aan het chassis gelegd. Op deze manier wordt goed voorkomen dat de grote stromen van de eindtrap doordringen in de gevoelige voortrap. De onderdelen zijn op montagebordjes geplaatst (zie 4)) en alle draden zijn stevig aan elkaar gehecht met strips. In de praktijk zal er stevig met deze versterker gesjouwd worden, stommelen en stoten komt regelmatig voor. Daarom is uiterste mechanische stabiliteit erg belangrijk. De ECC99 zit in een onafgeschermde buisvoet, terwijl de ECC82 een afschermkoker om zich heen heeft. Hij staat vlak bij de uitgangstrafo en enige instraling van lekvelden aldaar zou instabiliteit kunnen geven. De luidsprekeruitgangen zijn uitgevoerd met jacket chassisdelen, wat in de muziekwereld een gebruikelijke connector is. Ook is een Speakon uitgang aanwezig die met de 4 Ohm tap is verbonden.

Meetresultaten

De stuurtrap is eerst afzonderlijk doorgemeten en is bijzonder breedbandig. Het -3dB bereik loopt van 1 Hz tot 250 kHz, terwijl bij de uitgangen -A- en -B- een maximale uitgangsspanning van 200 Vtt beschikbaar is. Voor de uitsturing van de eindbuizen is per uitgang 100 Vtt nodig (bij de 6550 buizen), dus er is een prettige extra uitsturingsmarge van 6 dB aanwezig. Vooral bij oversturing van de versterker is dit gewenst, omdat dan alleen de eindbuizen in de begrenzing gaan, terwijl de voortrap volledig stabiel blijft. De versterker zal daarom niet in de oversturing blijven hangen, maar zich daar onmiddellijk van herstellen.
De eindtrap is getest met EL34 eindbuizen die per buis op een ruststroom van 25 mA zijn ingesteld. Het continue uitgangsvermogen bedraagt dan 220 Watt in alle aangegeven secundaire impedanties. Het piekvermogen

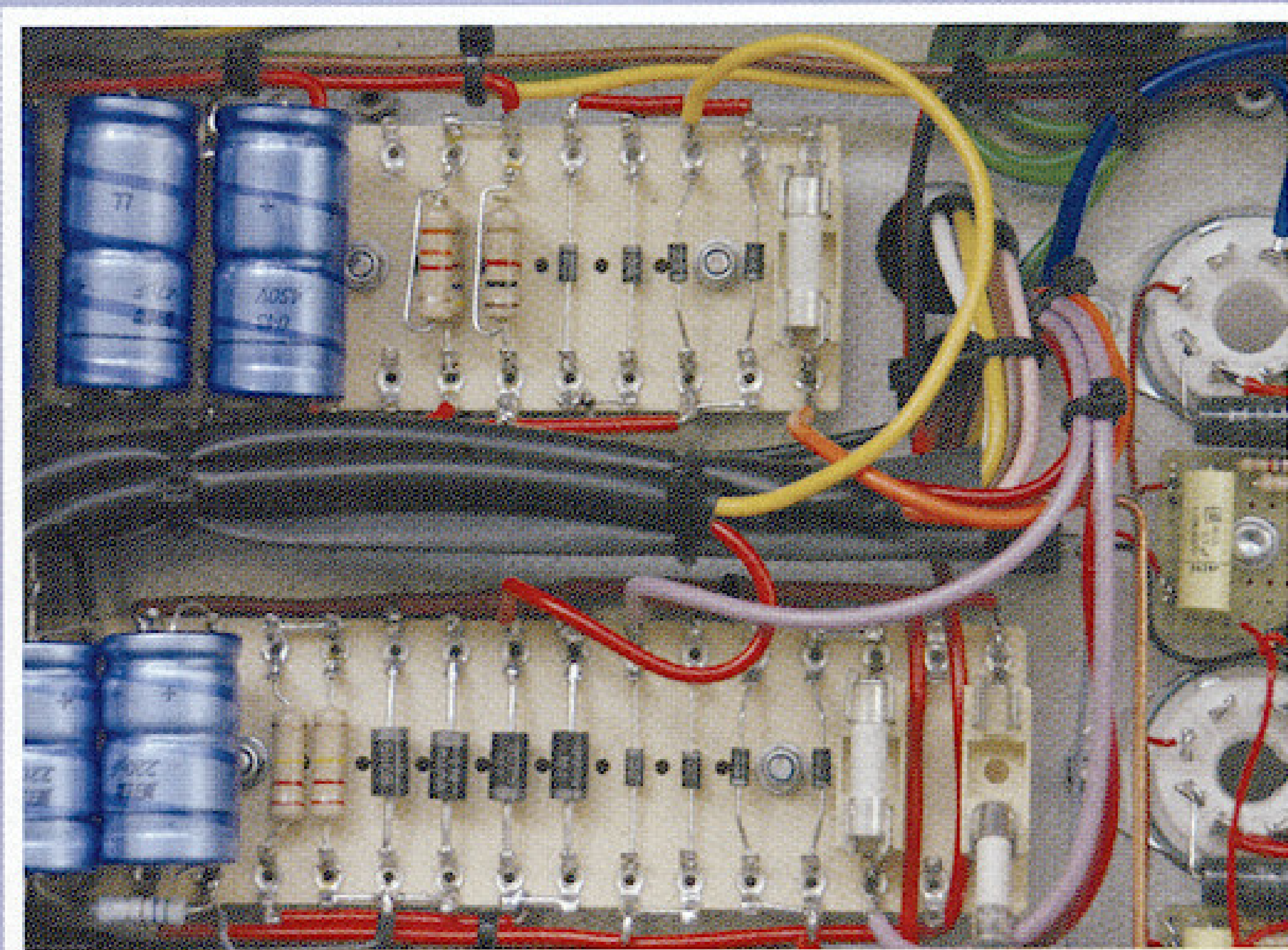


Figuur 3:
Schema voeding

Bedrading van de voeding

Totaal overzicht van de testopstelling

Overzicht van gebruikte versterkers







van pulsvormige signalen schiet ruim over 300 Watt heen. Het -3dB frequentiebereik loopt van 18 Hz tot 25 kHz, terwijl 22 Hz nog met het volle vermogen van 220 Watt kan worden weergegeven. Bij frequenties onder 22 Hz gaat de kern van de uitgangstrafo bij vol vermogen zachtjes en mild in verzadiging, wat duidt op een welkome kleine restspleet in die kern. De uitgangsimpedantie van de versterker is hoog, namelijk 78 Ohm. Dat komt omdat er geen enkele tegenkoppeling wordt toegepast. Deze versterker gedraagt zich echt als een stroombron en niet als een spanningsbron. Bij de bespreking van de luisterresultaten zal dit verschijnsel een hoofdrol blijken te spelen. Bij nauwkeurige instelling van gelijke ruststromen door de eindbuizen bedraagt het rest bromsignaal aan de 4 Ohm uitgang 10 mVtt. Dat is in de praktijk onhoorbaar, vooral omdat een podium altijd lawaaiig is. Thuis, met een subwoofer, is dit iets teveel brom, wat door geringe tegenkoppeling tot acceptabele waarde teruggebracht moet worden.

Luisterresultaten

De versterker is getest met twee 500 Watt 12" luidsprekers, aangestuurd door de VA615 basgitaar voorversterker van Marc van der Kley, die bij de eindevaluatie zelf ook aanwezig was (zie de foto's en 5)). Opvallend was de diepe lage ronde klank van mijn versterker met een ongelooflijk stevig zwaar fundament. Dit gedrag is volledig verklaarbaar door het stroombron karakter van de versterker. De luidsprekers worden namelijk niet gedempt, dus op hun resonantiefrequenties slingeren ze extra uit, maken grote conusuitslagen en wordt de klank diep warm. Gaat men extra tegenkoppelen, dan worden de luidsprekers meer gedempt en is de klank strakker, maar voor mij was juist dit ronde warme geluid zeer belangrijk. Dit wilde ik, en het is ook precies gerealiseerd. De versterker is snel en puntig, zelfs bij oversturing. Hij gaat dan zacht in de verzadiging en blijft volledig muzikaal klinken. Zelfs bij vol volume ontstaat geen onaangename druk op de oren, het muzikale karakter blijft op alle niveaus aangenaam. Marc had ook zijn VA750 2000 Watt eindtrap meegenomen die we met mijn versterker hebben vergeleken. Die VA750 is een echte spanningsversterker, de speakers worden stevig gedempt en dat is goed hoorbaar. Het sublaag klinkt dan strakker en minder luid. Bij mijn versterker trillen de ramen van de werkruimte mee, met de versterker van Marc doen ze dat niet. Bij mijn buizen voel je je buik en de grond trillen, bij de VA750 voel je druk op je oren. Ga zo maar door, elk van deze eigenschappen is volledig verklaarbaar en door middel van tegenkoppeling ook volledig instelbaar. Het ontwikkelen en bouwen van deze versterker is een heftige klus geweest, maar de muzikale beloning op al die arbeid is groot. Deze buizen eindversterker is een prachtig muziekinstrument, met een eigen karakter. Kom maar eens naar een optreden van onze band luisteren, hartelijk welkom, dan kun je het met je eigen oren horen.

Literatuur/Bronnen

1) info@mennovanderveen.nl: VDV-Bas300 aanvragen via e-mail; bij voldoende belangstelling volgt aparte productie voor verkoop.

2) www.amplimo.nl

3) www.koch-amps.com

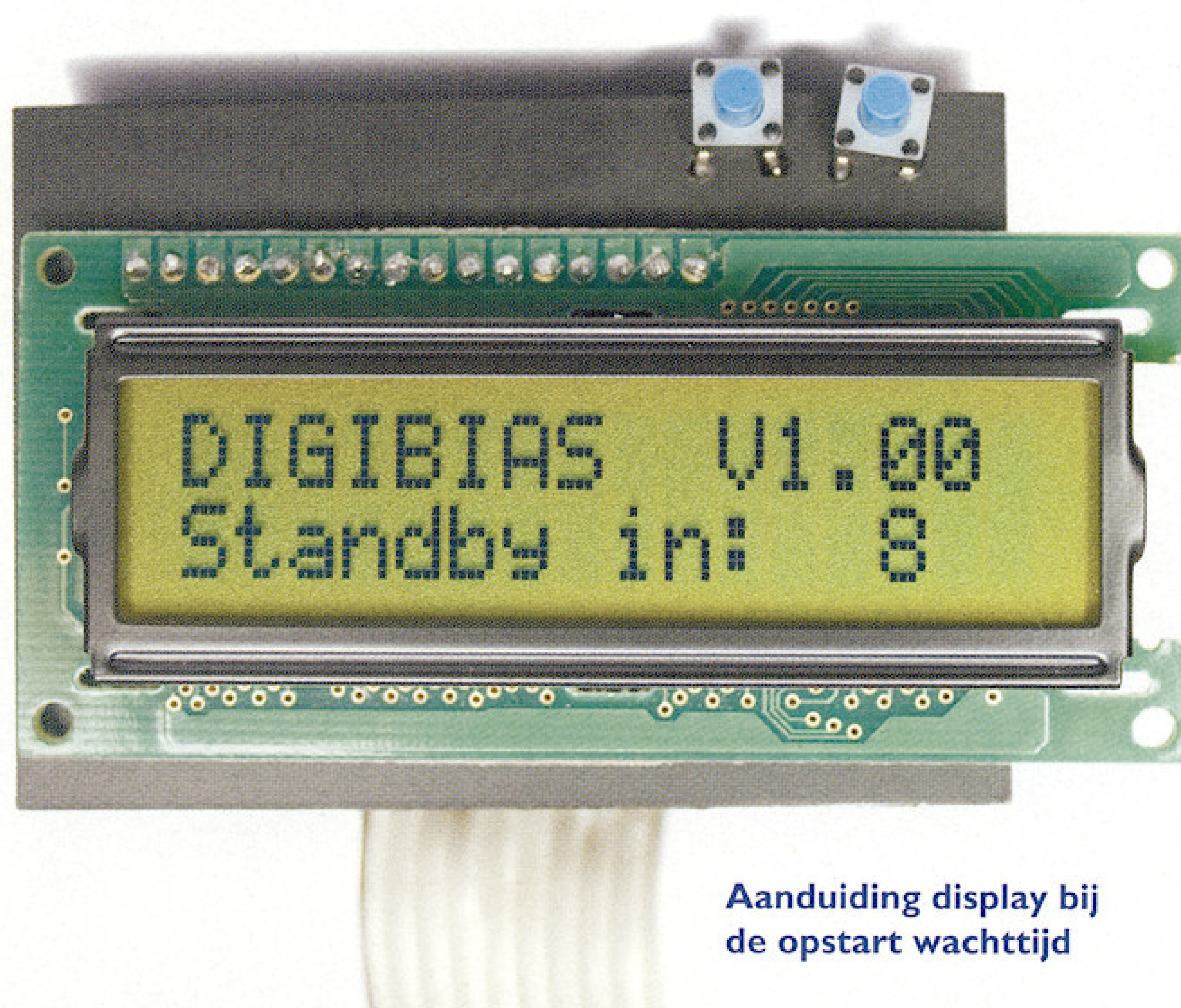
4) www.conrad.com

5) www.vanderkleyamp.com

6) voor vragen: RstreepjeGB@zonnet.nl

Digibias:

Digitaal de ruststroom instellen en bewaken



Aanduiding display bij de opstart wachttijd

DOOR JOCHEM ZWIER

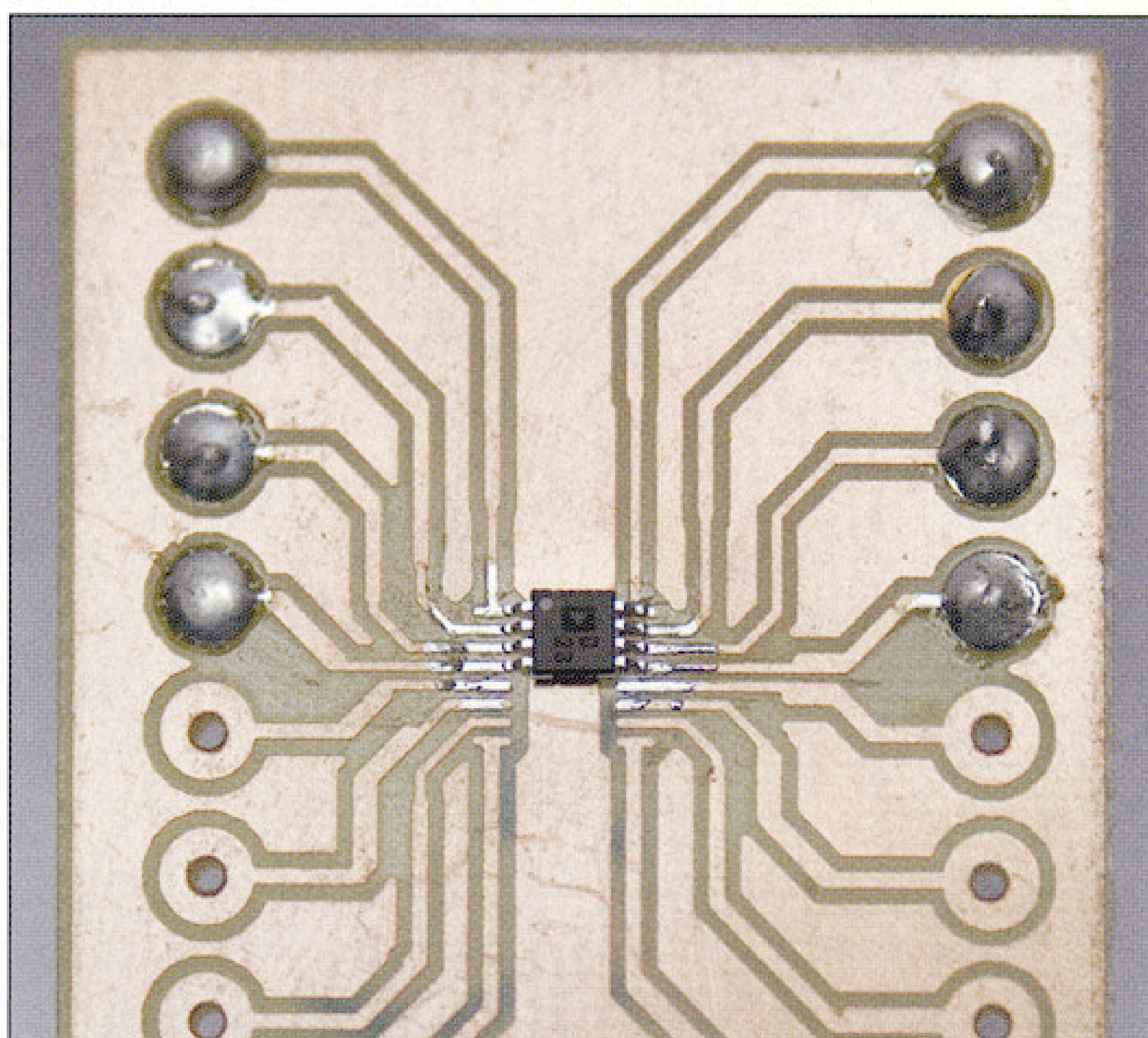
Door de eindbuizen van een buizenversterker loopt altijd een ruststroom. De grootte daarvan is belangrijk voor de optimale werking van de versterker. Buizen verouderen echter, waardoor de ruststroom gaat verlopen en de eigenschappen van de versterker slechter worden. Daarom is een permanente bewaking van de ruststroom belangrijk. Dit artikel beschrijft een unieke bewakingsschakeling die in het digitale domein de ruststroom instelt en controleert.

Inleiding

Bij een buizenversterker is de ruststroom door de eindbuizen een belangrijk gegeven. Deze ruststroom bepaalt in hoeverre de versterker in klasse A opereert en dit is klanktechnisch van grote invloed. Door middel van de grootte van de ruststroom worden de eindbuizen van de versterker ingesteld op een bepaald instelpunt. Ook is de ruststroom belangrijk voor de levensduur van de buizen. Hoe meer ruststroom er loopt, hoe korter hun levensduur wordt. Daarnaast is de gelijkheid van de ruststroom door de eindbuizen (bij balansschakeling) belangrijk om minimale vervorming en minimale brom te bereiken.

De ruststroom van eindbuizen kan worden ingesteld door middel van een negatieve voorspanning op het stuurrooster van elke eindbuis. Voedingstransformatoren in buizenversterkers hebben daarvoor een aparte secundaire wikkeling van zo'n 40 of 50 Volt, waarmee deze negatieve voorspanning gerealiseerd kan worden. De conventionele oplossing voor het instellen van de ruststroom is het meten van de gelijkspanning die in rustsituatie over een kleine kathode weerstand komt te staan, terwijl met een instelpotentiometer de negatieve voorspanning wordt aangepast totdat de gewenste ruststroom bereikt wordt.

In deze Digibias schakeling wordt de ruststroom automatisch ingesteld en continu bewaakt. Via een LCD interface met twee drukknopjes kan de grootte van de ruststroom ingesteld worden. Er zijn geen handmatige instellingen en bewakingen meer nodig; de schakeling werkt volledig automatisch en controleert de optimale ruststroom continu, zelfs tijdens muziekweergave.



Korte beschrijving

Door middel van een ADC (Analoog naar Digitaal converter) wordt de spanning over een kleine kathode weerstand gemeten. Die spanning is evenredig met de ruststroom. De waarde ervan wordt opgeslagen in een processor, waar hij vergeleken wordt met een ruststroom die de gebruiker heeft ingesteld.

De negatieve voorspanning van de buis is digitaal instelbaar. Er wordt namelijk gebruik gemaakt van een DAC (Digitaal naar Analoog converter). De spanning aan de uitgang van de DAC wordt aangestuurd door de resul-

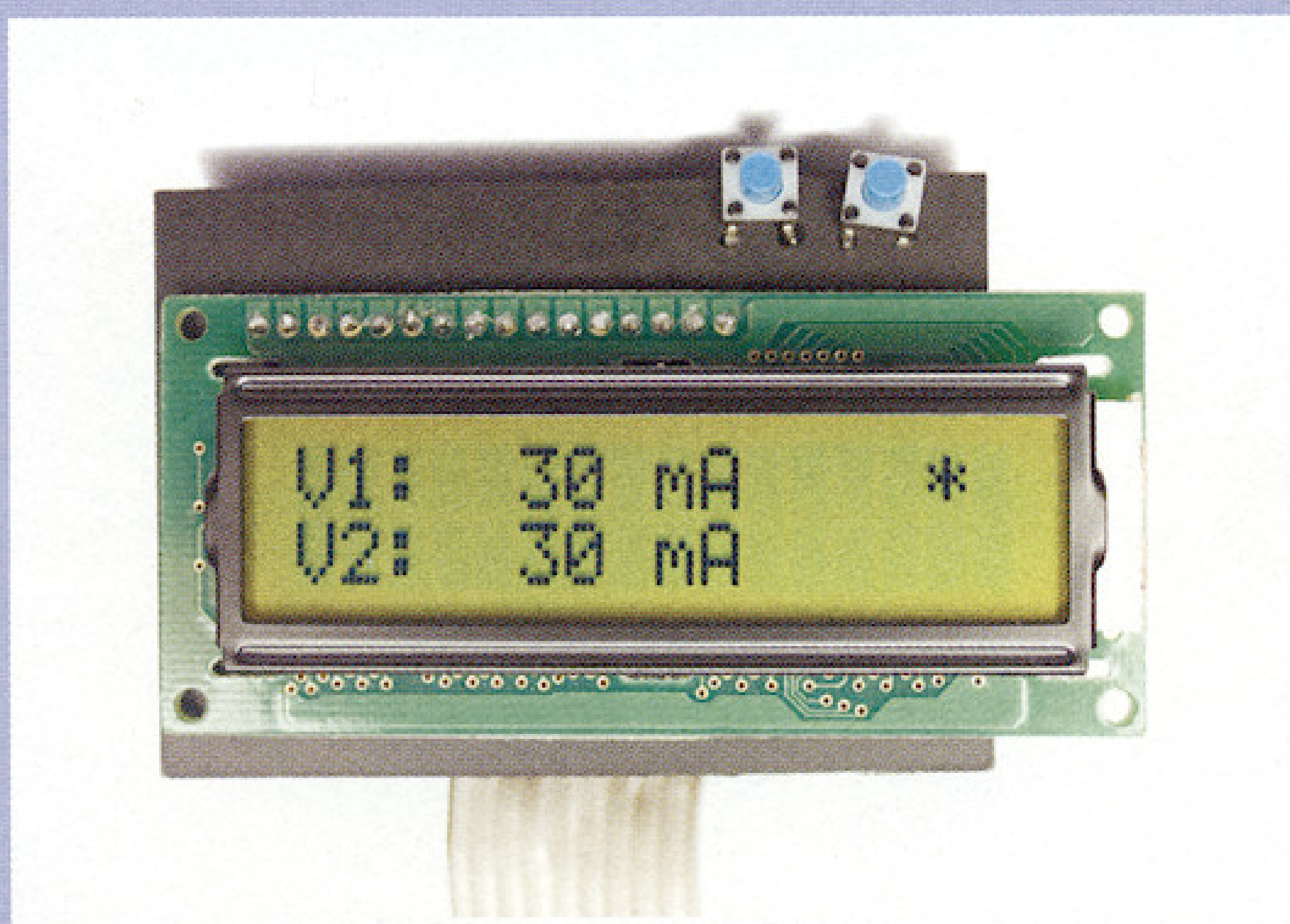
Proefprint voor de DA-converter AD5337

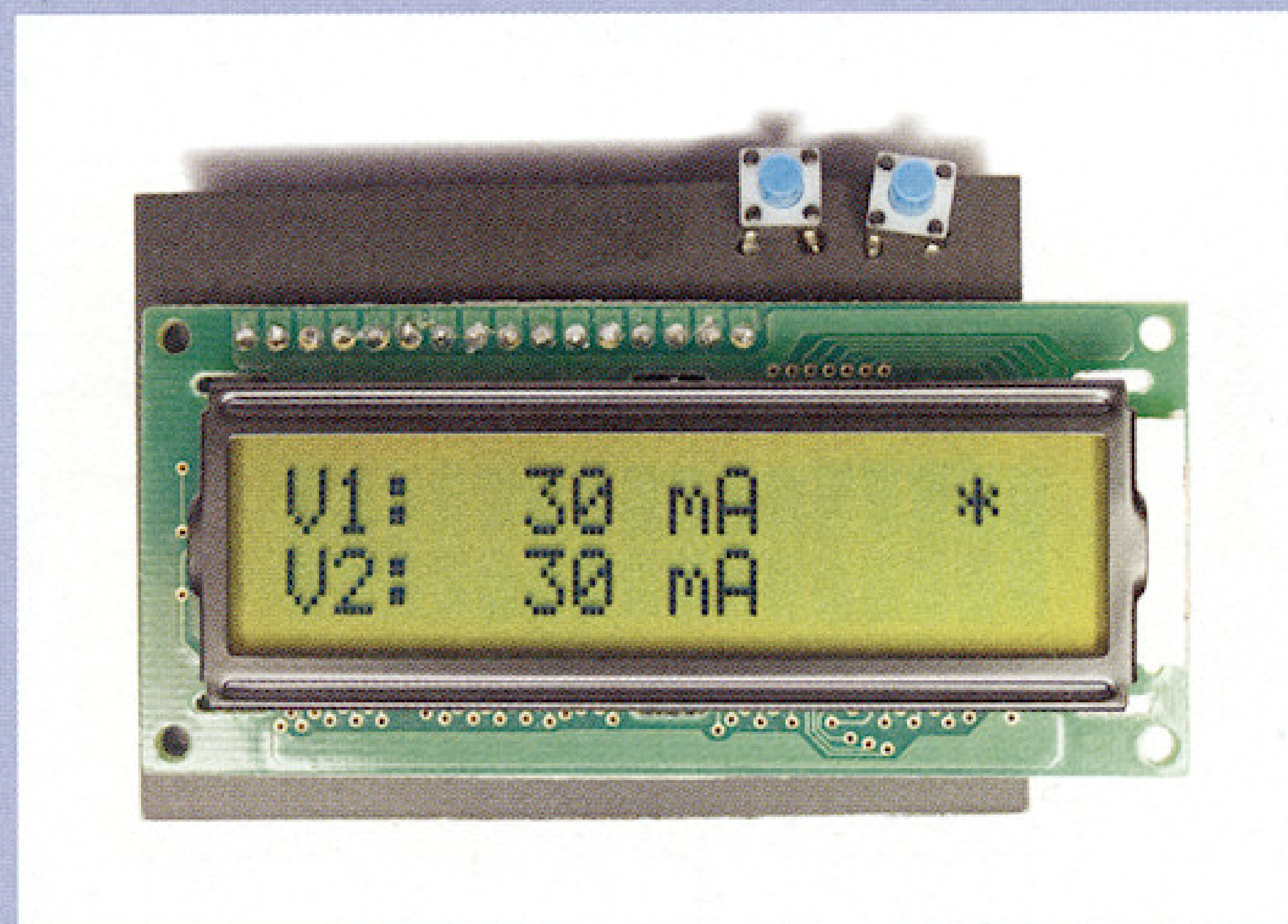
Het display geeft de ruststroom aan

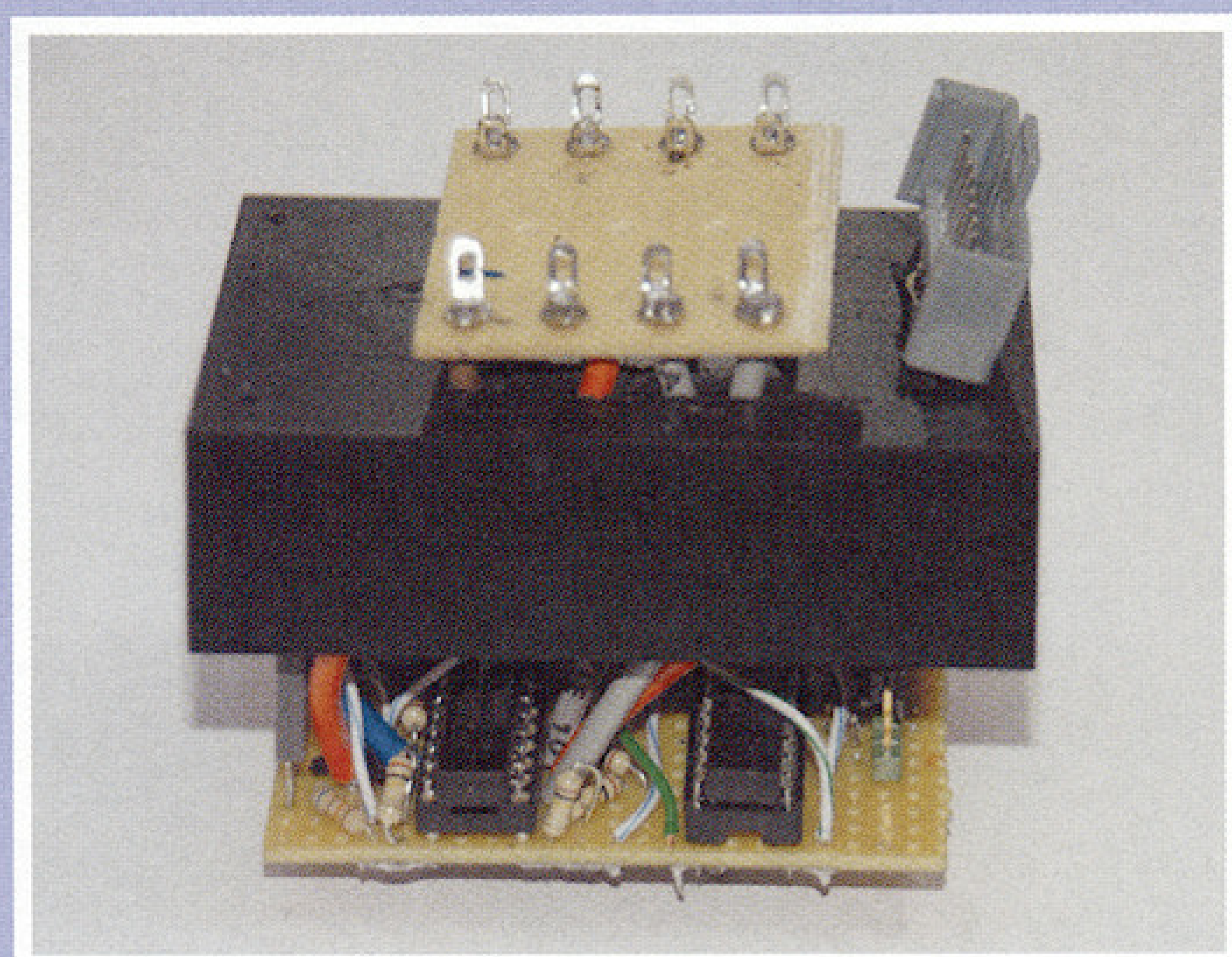
Nu zonder bandkabel

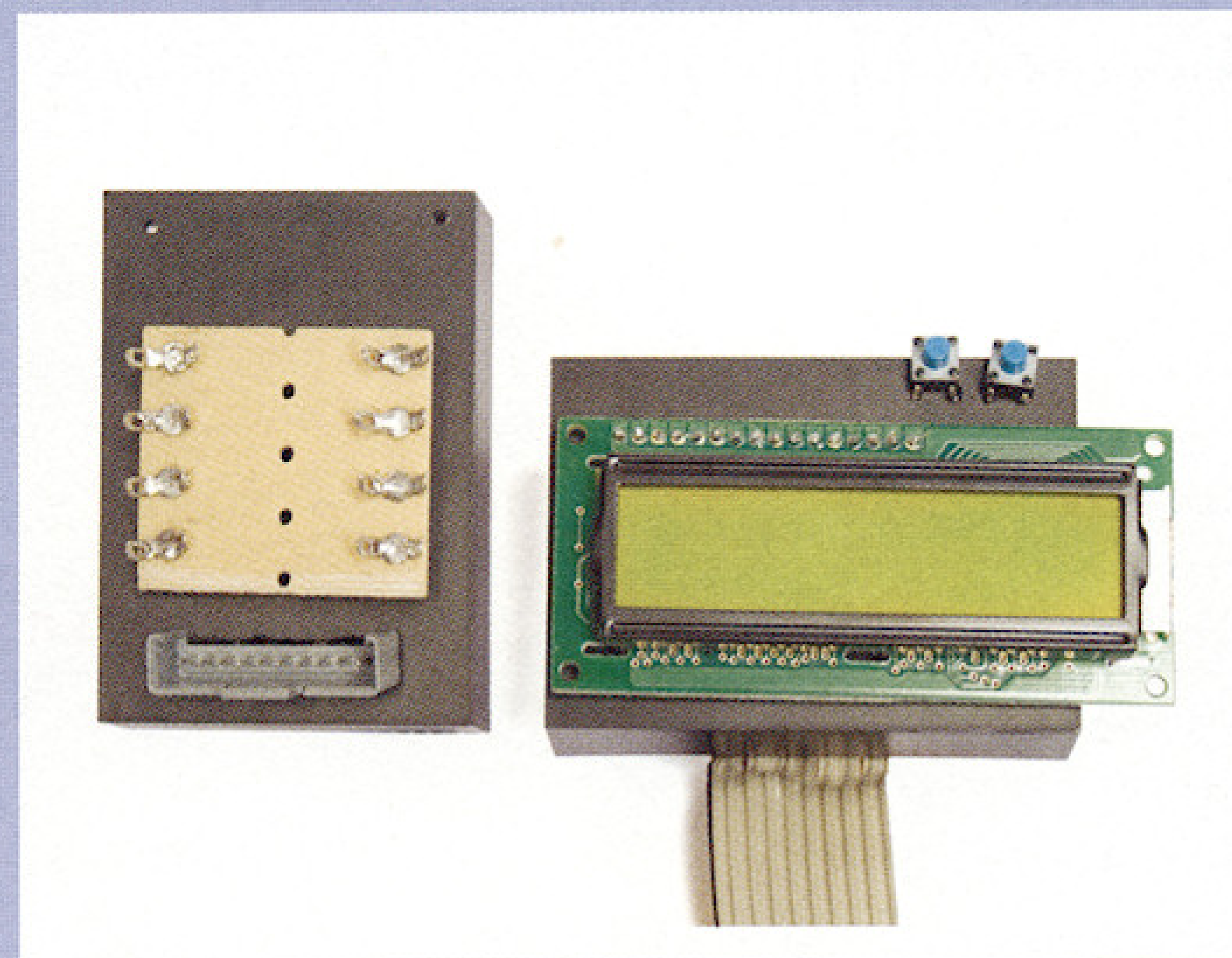
Montage van de Digibias schakeling

Digibias met display









taten van de processor berekeningen. Deze spanning wordt uiteindelijk gebruikt om de negatieve voorspanning in te stellen.

Bewaking tijdens muziekweergave

Wanneer er geen audio ingangssignaal aanwezig is, kan de processor de buis gemakkelijk instellen op de gewenste waarde. Maar op het moment dat de buis ingangssignalen versterkt, gaat de stroom door de kathode weerstand lang niet altijd evenredig mee veranderen. Hierdoor klopt de meting van de ADC in veel gevallen niet. De oplossing is dat de processor een groot aantal keren de stroom meet en hier een soort middeling op toepast. Zolang het audio ingangssignaal symmetrisch is, wat over een zekere tijdspanne altijd het geval is, is de ruststroom af te leiden uit deze middeling. Dit gaat alleen goed zolang de buis in zijn klasse A gebied werkt, want dan verandert de stroom door de buis ook symmetrisch rondom de ingestelde ruststroom.
Wanneer de buis in klasse B gaat werken is deze eenvoudige middeling niet meer voldoende. Het signaal op de kathode weerstand is dan namelijk niet meer symmetrisch rondom de ruststroom verdeeld. De stroom wordt dan meer groter dan kleiner dan de ruststroom. Bij een standaard middeling wordt daardoor een te grote gemiddelde stroom gemeten, waardoor de buis door de controle schakeling afgeknepen (bijregelen tot lagere ruststroom) wordt.
De oplossing hiervoor is om een smal meetvenster in het klasse A werkgebied van de buis te creëren. Dit venster wordt door de processor om de gekozen ruststroom gelegd. Wanneer de momentane stroom groter is dan dit venster, wordt de waarde van de meting vastgelegd op de bovenste grens van het venster. Dit gebeurt aan de onderkant van het venster ook. Het resultaat is dat de processor alleen 'meet' binnen het venster dat rondom het gekozen instelpunt ligt. In dit venster is het signaal symmetrisch en is via een normale middeling de ruststroom af te lezen. Anders geformuleerd: de schakeling meet alleen in een smal klasse A gebied rondom de ruststroom. Wat daarbuiten gebeurt (bijvoorbeeld uitsturing in het klasse B werkgebied) wordt genegeerd. Hierdoor heeft de dan optredende asymmetrie in de stroom geen invloed meer op de eigenlijke meting en middeling. Zie 1) voor een volledig analoge schakeling die op dezelfde manier werkt.

Digibias hardware

De toegepaste processor is de PIC16F690 van Microchip. Dit 20 pens IC heeft een ingebouwde ADC en de schakeling werkt standaard op 4 MHz.
De spanning over de kleine kathodeweerstand bij de eindbuis (10 Ohm) wordt eerst twee keer versterkt door een niet inverterende opamp schakeling. Bij 40 mA door de buis 'ziet' de ADC dan 0,8 V. Hierdoor zit de te meten spanning voldoende in het meetbereik (0 tot 5 V) van de ADC en wordt de resolutie van de meting voldoende groot. Deze voorversterker fungeert ook als impedantie buffer tussen de kathodeweerstand en de ADC.
De DAC in deze schakeling is de AD5337 van Analog Devices. Dit is een goedkope (2,30 euro) twee kanaals DAC potentiometer, die via twee datalijnen bestuurd wordt. Het IC is 8 pins en is alleen verkrijgbaar in een MSOP SSD behuizing. Precies soldeerwerk is hier dus essentieel. Het is daarom aan te raden een 'prototyping board' te gebruiken, waar dit IC gemakkelijker op te solderen is.

De uitgang van de DAC wordt geïnverteerd via een tweede opamp schakeling. Aan de uitgang daarvan verschijnt dan een spanning tussen 0 V en -5 V. Deze spanning wordt gevoerd naar de basis van een PNP transistor. Afhankelijk van de spanning op de basis van de transistor loopt er een stroom door de collector. Hoe meer negatief de spanning op de basis, des te meer stroom er loopt, waardoor de spanning over de collectorweerstand (R4 = 10 kOhm in het schema) groter wordt. Hierdoor gaat de uitgangsspanning meer naar 0 V. De viervoudige opamp TL074 (zie figuur 3) die zorg draagt voor de voorversterking en inversie, wordt gevoed uit een positieve Vcc en negatieve Vss spanning van plus en min 15 V.

De instelling van de gehele schakeling gebeurt via een LCD uitleesscherm en twee drukknopjes. Deze knoppen zijn via pull-up weerstanden verbonden met de processor. De data voor de LCD wordt aangeleverd via een CD4094 8 bits schuifregister, zodat er minder pinnen nodig zijn op de processor. De LCD en de knoppen zijn op deze manier makkelijk te verbinden met de rest van de schakeling via een bandkabel. Zo kan de hoofdprint weggewerkt worden in de versterker terwijl de interface bediening en uitlezing op het frontpaneel bevestigd kan worden.

Software downloaden

Voor de software is gebruik gemaakt van de CC5X compiler, Standard Edition. Hiermee wordt de 16F690 in de taal C geprogrammeerd. Deze open source software kan van de website 2) gehaald worden en staat vrij ter beschikking.

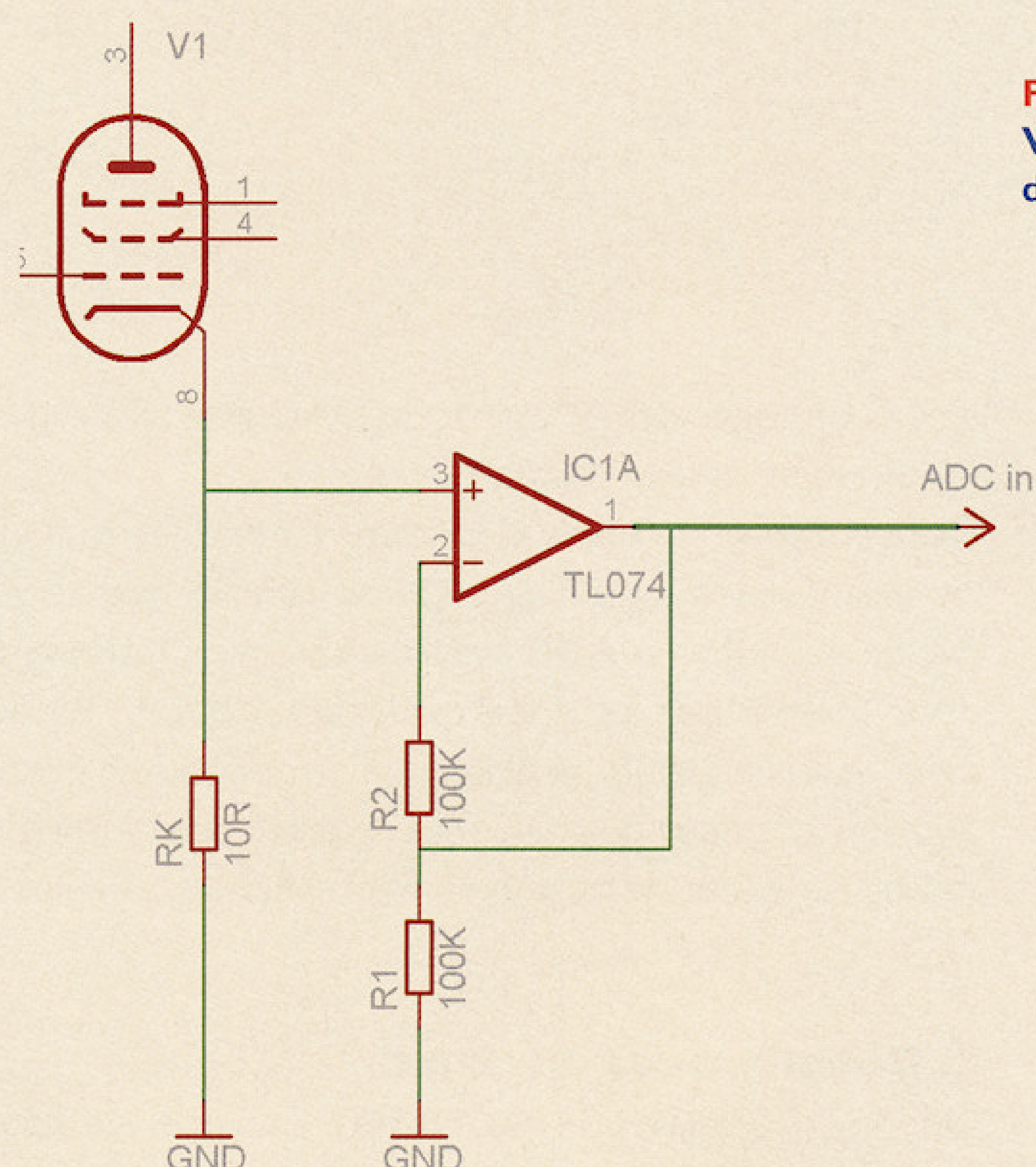
Meer details over de ADC

De ingebouwde ADC van de 16F690 is 10 bits en heeft 10 kanalen. Per buis is één kanaal nodig. Via een software gestuurde multiplexer moeten de kanalen geselecteerd worden. Dit wordt ingesteld in het ADCON0 register van de processor. Uiteraard moeten de pinnen die bij de kanalen horen wel geconfigureerd worden als analoge input. (via de TRIS en ANSEL registers)

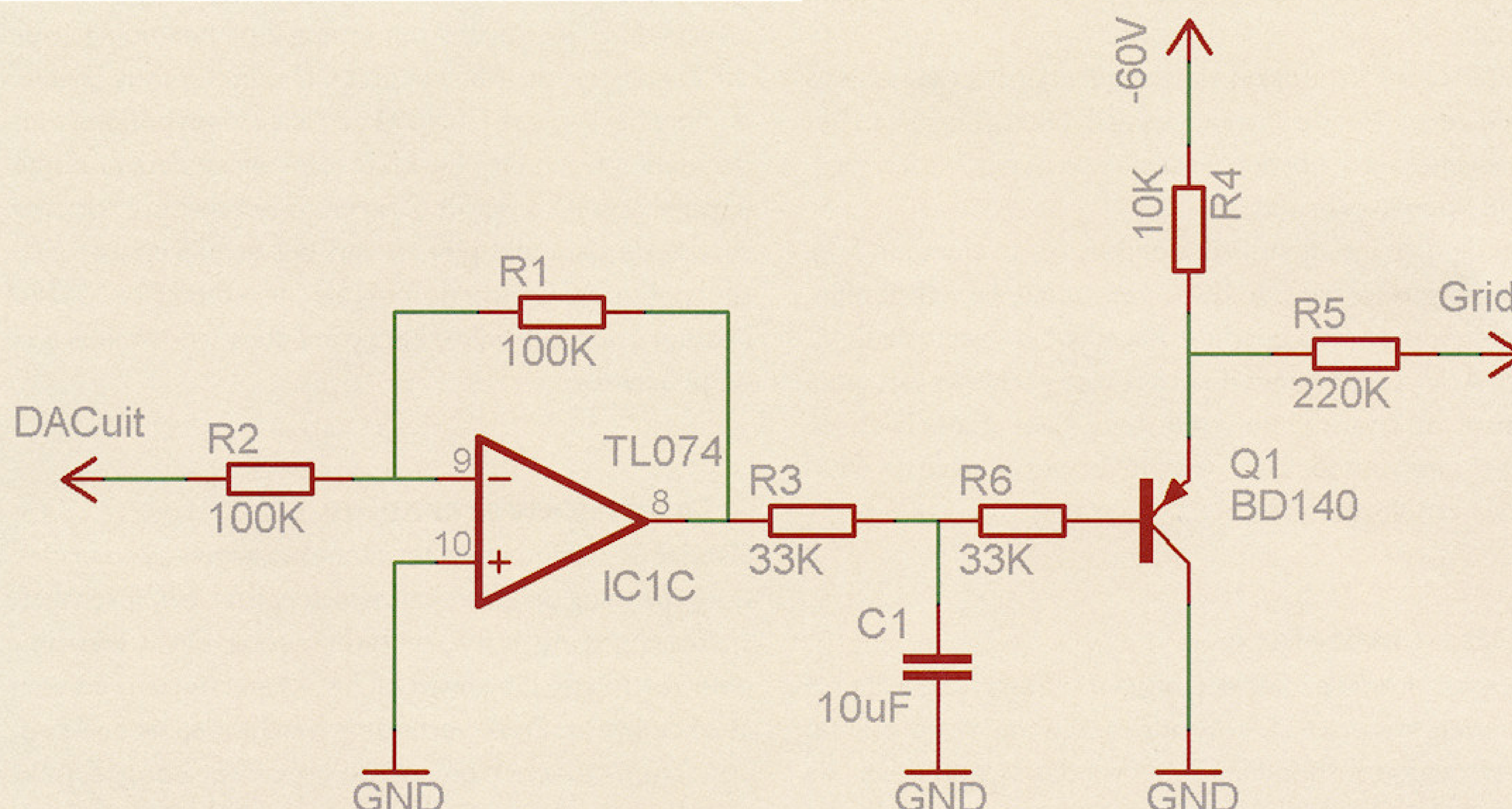
De klok van de ADC is via het ADCON1 register ingesteld op 1 MHz. Snelheid is niet echt belangrijk bij deze schakeling, omdat er een middeling wordt toegepast op de gemeten waarden.

In de software worden steeds 20000 stroommetingen gedaan, waarvan de gemiddelde waarde genomen wordt. Hier wordt gebruik gemaakt van een 24 bit variabele. De 16F690 heeft weliswaar een 8 bit core, maar de compiler ondersteund 24 bit variabelen en gebruikt dus meerdere bytes uit de processor om de variabele te realiseren. Dit gaat ten koste van de snelheid, maar die is in dit geval niet essentieel.

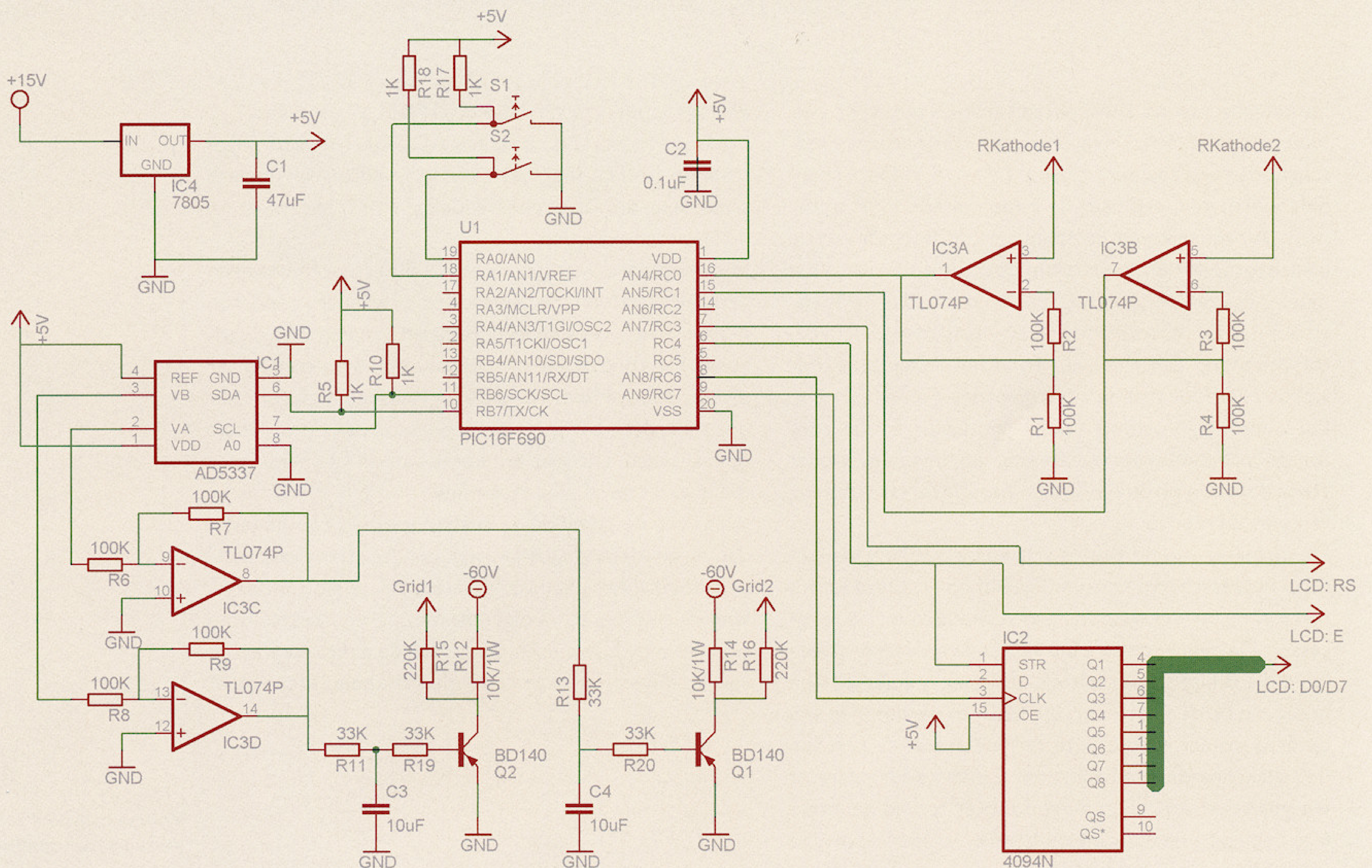
Wanneer de gemiddelde ruststroom waarde hoger is dan de gekozen waarde, wordt een 'controle variabele' verhoogd. Deze 'controle variabele' wordt verlaagd, wanneer er bij een volgende meting een ruststroom waarde wordt gemeten die onder de gekozen waarde ligt. Wanneer nu deze controle variabele lager wordt



Figuur 1: Voorversterker van de te meten spanning



Figuur 2: Spanningsinversie en regeling van de negatieve roosterspanning die via R5 naar het stuurrooster wordt gevoerd.



Figuur 3: Overzichtschema van de totale DigiBias schakeling. Merk op dat de TL074 gevoed wordt met Vcc/Vss = +/- 15 V (niet getekend).

dan -3 of hoger dan 3, wordt de DAC gebruikt om de negatieve voorspanning aan te passen.

Deze controle variabele voorkomt schommelingen van de negatieve voorspanning. Het kan namelijk best zo zijn dat de gemiddelde ADC waarde een keer te hoog is, door meetfouten of door quantisatie fouten. Bij het delen van een 24 bits getal kunnen er ook fouten optreden. Pas wanneer de ADC meting drie keer te hoog of te laag is, wordt de negatieve voorspanning aangepast.

Details over de DAC

Om de DAC en dus de uiteindelijke de negatieve voorspanning in te kunnen stellen praat de processor met de DAC. Deze interfacing gaat via 2 lijnen. Een kloklijn en een datalijn. De interface van de AD5337 is I2C compatible.

De DAC is 2 kanaals en via een adressering kunnen dus twee verschillende spanningen aan de uitgangen van het IC gegenereerd worden waarmee twee eindbuizen ingesteld kunnen worden.

Om de DAC in te stellen worden, na de startconditie, 4 bytes serieel naar de DAC verstuurd. Er wordt afgesloten met de stop conditie. Na elke byte geeft de DAC een 'Ack', zodat vanuit de processor gecheckt kan worden of de transmissie goed gaat. Voor gedetailleerde interfacing met de DAC wordt verwezen naar de datasheet van de AD5337.

User interface

De user interface interface bestaat uit een LCD-scherm en twee knoppen. De knoppen zijn via twee pull-up weerstanden verbonden aan de voedingsspanning van de processor. De pinnen van de processor waar de knoppen aan zitten zijn geconfigureerd als digitale input en zijn door de pull-up weerstanden altijd hoog, tenzij de knop wordt ingeduwd.

De processor detecteert wanneer een knop wordt ingeduwd, maar voert de volgende behandeling pas uit, zodra de knop weer losgelaten wordt. De knoppen worden softwarematig gedebounced.

Met de knoppen kan de gewenste ruststroom gekozen worden. Deze gekozen waarde wordt gebruikt om het eerder besproken meetvenster mee te creëren, waarmee de gemeten kathodestroom wordt vergeleken.

De LCD geeft aan op welke ruststroom de eindbuizen staan ingesteld. De LCD wordt in 8 bit mode bestuurd door de processor. Door middel van het 4094 schuifregister IC worden deze 8 bits serieel uit de processor geklokt. Daardoor zijn slechts 2 pinnen nodig, een klok en een data lijn. Verder zijn er nog 2 pinnen nodig voor de 'Enable' en de 'RS' van de LCD. De 'Output Enable' en 'Strobe' van det CD4094 zijn allebei verbonden met de voedingsspanning. De LCD leest alleen data in, als de 'Enable' gestuurd wordt. Daarom is het niet erg dat daar tussen de data alle pinnen van het schuifregister passeert. De LCD wordt net als de standaard 44780 bestuurd. De gebruikte karakters staan gedefinieerd in de processor.

Inschakelvertraging

Omdat de buizen eerst moeten opwarmen, voordat er hoogspanning op gezet kan worden, is er een inschakelvertraging in de software gerealiseerd. Dit is een simpele vertraging die alleen bij het opstarten van de versterker werkt. Deze vertraging 'wacht' ongeveer 45 seconden, waarna een pin van de processor hooggemaakt wordt. Aan deze pin kan via een transistor een relais

verbonden worden die de 'standby' schakelaar van een buizenversterker kan vervangen.
Wanneer gebruik wordt gemaakt van een gewone standby schakelaar, kan de Digibias schakeling elk moment op pauze worden gezet door beide knoppen van de interface in te drukken. De schakeling doet nu niets meer, de stuurroosterspanning staat op maximaal negatief, totdat weer één van de knoppen ingedrukt wordt waarbij de gehele procedure opnieuw opstart.

Voeding

De voeding van de schakeling is dermate standaard dat hier verder geen aandacht aan wordt besteed. Deze bestaat uit +15 V en -15 V rechtstreeks naar de TL074. Via een 7805 voltage regulator wordt een stabiele 5 V bron gerealiseerd voor de 16F690 en de AD5337. De LCD werkt ook op 5 V evenals het 4094 schuifregister IC. De benodigde -60 tot -80 V voor de uiteindelijke negatieve stuurspanning op de roosters van de eindbuizen kan met de al besproken 40 of 50 V wikkeling op de voedingstrafo worden gemaakt. Hierbij is dubbelfasige gelijkrichting en enkelvoudige buffering met 1000 µF meer dan voldoende goed.

Evaluatie en de praktijk

De Digibias is in meerdere buizenversterkers getest. Daarbij bleek vooral dat de grootte van de tijdlussen een belangrijke factor is voor de stabiliteit. Omdat alle wachttijden programmatisch gemakkelijk instelbaar zijn, werd uiteindelijk voor de nu volgende procedure gekozen. Na het inschakelen van de netspanning wacht de Digibias 45 seconden, terwijl de negatieve roosterspanning maximaal negatief is. De gloeidraden krijgen zo de tijd om goed warm te worden en de eindbuizen trekken geen stroom. Daarna treedt de volgende tijdlus in werking, waarbij de negatieve roosterspanning redelijk snel steeds minder negatief wordt, totdat de gewenste ruststroom wordt bereikt. Deze tijdlus duurt ongeveer 15 seconden en deze tijd hangt ook nog iets af van de gebruikte eindbuizen. Hebben die namelijk veel negatieve roosterspanning nodig, dan wordt de tijd iets minder dan 15 seconden. Bij weinig negatieve voorspanning duurt het iets langer dan 15 seconden. Hierna treedt een tijdlus met grote middelingstijd op, ongeveer in tijdblokken van 3 seconden. Deze lus herhaalt zich steeds. De tijd van 3 seconden is ruim voldoende om onrust in de regeling van de negatieve roosterspanning te voorkomen. Ook wordt door deze lange tijd voorkomen dat er enige modulatie optreedt door laagfrequente signalen in de muziek. Het kleine R-C netwerk (33 kOhm + 10 µF voor de regeltor BD140) functioneert daarbij als deglitshing netwerk wat opnieuw onrust in de negatieve roosterspanning voorkomt. Als de netspanning uitgeschakeld wordt keert de processor, na hernieuwd inschakelen, direct weer naar zijn eerste procedure terug, waarna het zachte opstarten opnieuw begint.
Aangezien de ontwikkelde software open source is, kan ieder natuurlijk zijn eigen procedures ontwikkelen en aan de praktijk optimaal aanpassen. Bij onze testen is gebleken dat de hierboven geschetste procedure prettig werkt en de eindbuizen rustig en stabiel naar hun instelpunt voert en hen daar continu laat zijn.

Literatuur en bronnen

1) Menno van der Veen: "High-End buizenversterkers 2"; hoofdstuk 12; Segment, ISBN 90-5381-204-0
2) members.home.nl/hugozwier/digibias.html : alhier downloaden van software van de Digibias
3) Voor vragen: jochemzwier@gmail.com

Componentenlijst:

16F690 1x
AD5337ARMZ 1x
TI074 1x
CD4094 1x
44780 compatible LCD 1x
2x momentschakelaar
BD140 2x
100 K 4x
10 K/1W 2x
220 K 2x
68 K 2x
1 k 4x
10 k 1x
10 k instelpot 1x (LCD, Contrast)
47 uF/16V 1x
0,1 uF 1x
7805 1x



De versterking is er!

Klasse D versterkers leveren een bak vermogen uit een klein doosje met weinig koeling. Maar alleen Hypex UcD™ modules zijn daarnaast specifiek ontwikkeld met het oog op de beste geluidskwaliteit.

Het unieke UcD™ regelsysteem garandeert eenzelfde uitstekende lineariteit bij alle audiofrequenties. Door de volledig discrete opbouw wordt elk schakeldetail tot in de puntjes beheerst. Dankzij het uitgekiende printontwerp en de op maat gemaakte filtercomponenten heeft de versterker een 10 à 20dB betere EMC dan de beste concurrent. Samen met de differentiële ingangen verzekert dit een optimaal resultaat in de meest uiteenlopende toepassingen. De ontwerpers zijn door de wol geverfde audio-freaks die er dagelijks zorg voor dragen dat Hypex modules hun muzikale beloftes waarmaken: absolute neutraliteit en transparantie en overdracht van de volle emotionele kracht van de muziek.

Bezoek www.hypex.nl of ga eens luisteren naar één van de vele hi-fi produkten die met Hypex UcD™ versterkers voorzien zijn.

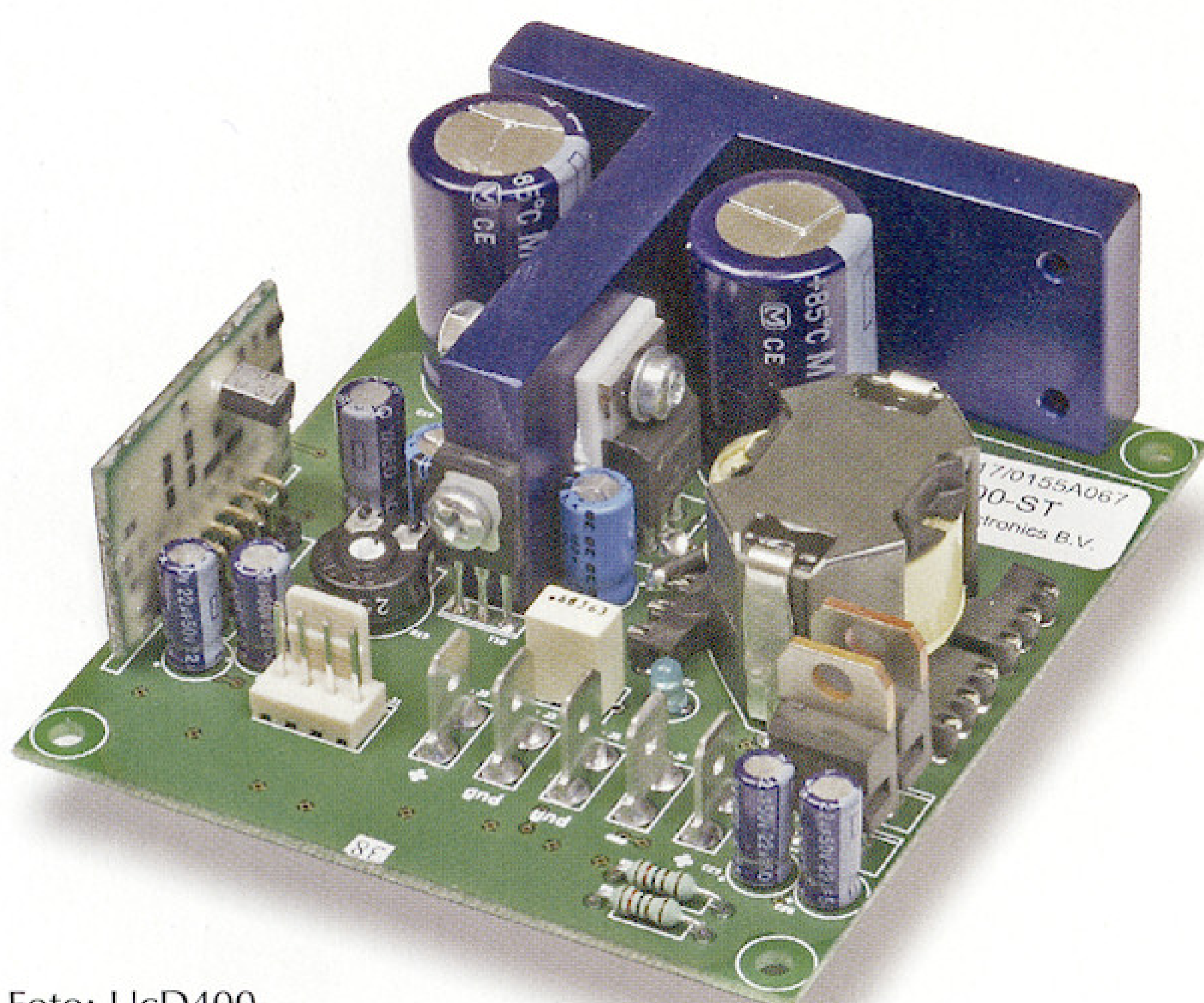


Foto: UcD400
Afmetingen: 83x75x29mm

Klank

- Bijzonder neutrale balans
- Moeiteloze dynamiek tot volle uitsturing
- Rustig, stabiel driedimensionaal stereobeeld

Prestaties

- Vermogen: 400W aan 4Ω. Ook verkrijgbaar in 180W en 700W versies.
- Rendement: 93% bij vol vermogen
- Respons: -1dB bij 30kHz, -3dB bij 50kHz, geheel impedantie-onafhankelijk.
- Dempingsfactor: 400 bij 1kHz, 70 bij 20kHz.
- Vervorming: <0.03% (0.01% typ), niet frequentie-afhankelijk
- Signaal/ruis: 120dB, 20-20kHz ongewogen.
- Wideband conducted EMI: <0dBmA. (RBW=100kHz)
- DC offset max. 20mV.

Andere kenmerken

- Een ongestabiliseerde +/-65V voeding volstaat (UcD400).
- Plopvrije aan/uitschakeling via stuuringang
- Differentiële ingang met goede CM onderdrukking
- Beveiligd tegen overspanning en kortsluiting
- Gewicht: 160g



Hypex Electronics B.V.
Kattegat 8
9723 JP Groningen
+31 50 526 4993
www.hypex.nl
info@hypex.nl

Meettechniek in de praktijk

NIEUW!



Het uitvoeren van metingen behoort tot de fundamentele taken van elke elektronicus. Of het nu om het ontwikkelen van nieuwe schakelingen gaat, de controle van elektronische apparaten tijdens de productiefase of om het foutzoeken in defecte apparatuur: meetapparaten zijn het belangrijkste gereedschap en worden voortdurend gebruikt.

Om zichzelf geen rad voor ogen te draaien, moet de elektronicus weten wat hij doet. Hij moet de nauwkeurigheid van zijn meetapparatuur en vooral de voor- en nadelen van de toegepaste meetmethode kennen. En hier steekt dit boek de lezer de helpende hand toe! Uitgaand van theoretische beschouwingen en definities van de belangrijkste begrippen van de meettechniek begeleidt het de lezer bij de reis van eenvoudige wijzerinstrumenten via multimeter en oscilloscoop tot en met FFT-analyzers en gespecialiseerde meetapparaten zoals audio-analyzers, geluidsdrukmeters en apparaat- en installatietesters.

Het eerste hoofdstuk behandelt de theoretische achtergronden en bovenal begrippen en definities. In de hoofdstukken twee en drie gaat het om het meten van elektrische grootheden. Hier komt bijvoorbeeld de multimeter aan bod. Hoofdstuk vier is aan de oscilloscoop gewijd. In hoofdstuk vijf komt de audiotechniek aan de orde en in hoofdstuk zes gaat de auteur in op het meten aan en het controleren van elektrische installaties en apparaten.

224 pagina's • Formaat 17 x 23,5 cm
ISBN 978-90-5381-217-4 • € 32,50

Elektor International Media BV
Postbus 11
6114 ZG Susteren
E-mail : verkoop@elektor.nl
Internet : www.elektor.nl
Tel.: +31 (0)46 - 43 89 444
Fax: +31 (0)46 - 43 70 161



Bekijk de inhoudsopgave op www.elektor.nl/boeken



Paper Hatt

Klein, maar fijn

DOOR TONY GEE

De succesvolle HATT minimonitor reeks van Humble Homemade Hifi begon zes jaar geleden en heeft door de jaren heen veel variaties gekend. Het recept was telkens hetzelfde: een compacte bas-reflex behuizing voorzien van een kleine aluminium woofer aangevuld met een bijpassende aluminium tweeter. De Paper Hatt zet deze traditie voort echter met het grote verschil dat er nu gebruik gemaakt wordt van een woofer met een conus van papier. Hiermee is tevens de naam verklaard.

Aluminium en papier

Aluminium als conusmateriaal kent vele voordelen, door zijn grote stijfheid beweegt een aluminium conus meer als een ideale zuiger waardoor het aangeboden muzieksignaal preciezer wordt gevolgd, daarnaast is de harmonische vervorming zeer laag. Dit alles gaat goed totdat het harde materiaal bij hogere frequenties gaat opbreken, dan ontstaan er meerdere grote pieken in de frequentiecurve van de driver en zijn correctienetwerken nodig in het filter om deze weer in bedwang te houden. Papier als conusmateriaal kent deze opbreek verschijnselen praktisch niet en vertoont daarom ook een glad verloop tot boven z'n weergavebereik. Ideale vooruitzichten voor een eenvoudig filter, bij de Paper Hatt zelfs wel heel eenvoudig, maar daar komen we verderop in dit artikel uitgebreid op terug.

De hier gebruikte woofer is de Seas CA12RCY. Een kleine 12 centimeter woofer met een conus van papier die alleen aan de voorzijde is voorzien van een coating. De oppervlakte van deze conus bedraagt slechts 55 cm^2. De conus is opgehangen in een natuur rubberen rolrand en heeft in het midden een stofkap van gecoat textiel. Aan de achterzijde zien we een behoorlijk grote magneet die zorgt voor een sterke aandrijving van de slechts 6,1 gram bewegende massa. Een relatief lange spreekspoel zorgt voor een lineaire uitslag van 6 millimeter piek-piek en een maximale uitslag van 9 millimeter piek-piek. Al deze onderdelen worden op hun plek gehouden door een stijve, van lichtmetaal gegoten, korf die aan alle kanten is voorzien van de nodige ventilatie openingen. De spreekspoel is zelfs zichtbaar door de openingen tussen de achterste ophanging en de voorste poolplaat. Ook de poolkern is aan de achterkant geventileerd om compressie binnen het aandrijfsysteem tegen te gaan. Aan de voorzijde van het frame vinden we een zestal bevestigingsgaten zodat een optimale bevestiging met de behuizing wordt gegarandeerd.

De woofer werkt samen met een basreflex behuizing met een netto inhoud van 4 liter. Aan de achterzijde van de kast bevindt zich de poort die is afgestemd op 63 Hz. In combinatie met de parameters van de woofer zorgt dit voor een –3 dB-punt rond de 58 Hz.

Titanium en textiel

Bij deze luidspreker heeft de zelfbouwer keuze uit een tweetal tweeters waarbij alleen het materiaal van de dome verschilt: de Seas 27TTFNC/GW-H1461 is voorzien van een titanium dome en de Seas 27TDFNC/GW-H1462 gebruikt hiervoor gecoat textiel. Beide membranen zijn opgehangen in een brede rolrand en zijn beschermd tegen nieuwsgierige vingers door een akoestisch transparante metalen grille. Bij de metaal-dome zit er aan de binnenkant van deze grille nog een kleine ronde diffusor van transparant kunststof die dient om de allerhoogste frequenties iets in hun gedrag aan te passen.

De spreekspoel van deze tweeters is gewikkeld op een aluminium drager. De flexibele draden naar de spreekspoel zijn relatief lang uitgevoerd zodat lage kantelfrequenties of slappe filterhellingen geen probleem vormen voor deze tweeters. Aan de achterzijde zien we een compact maar krachtig neodymium magneetsysteem dat is voorzien van een geëxtrudeerd aluminium kamer met koelribben. Deze koelribben zorgen voor extra warmte afgifte naar buiten waardoor de belastbaarheid van de tweeter wordt vergroot. Om de belastbaarheid nog verder te vergroten wordt de spreekspoel extra gekoeld door ferrofluid met een lage viscositeit.

Massief en gelaagd hout

Ondanks zijn inhoud van slechts 4 liter is deze luidspreker naar verhouding 'groot'. Dit komt door de enorme wanddikte van 36 mm die overal in de kast is toegepast. De wanden zijn samengesteld uit een binnenzijde van 12-laags, 18 mm dik berkenmultiplex van professionele kwaliteit en een buitenkant van 18 mm massief beuken timmerpanelen. Samen vormen deze twee met elkaar verlijmde lagen een zeer stijf en dood geheel. Op de bouwtekening is te zien hoe één en ander in elkaar zit waarbij een aantal belangrijke details niet over het hoofd mag worden gezien. De binnenzijde van de opening voor de woofer in de baffle is rondom voorzien van een afschuining en tevens is er ter plaatse van de woofer een deel van de binnenwanden afgeschuind Deze beide maatregelen zorgen ervoor dat de woofer aan de achterzijde optimaal kan ademen. Door de grote magneet zou er zonder deze afschuiningen onvoldoende lucht circulatie plaatsvinden achter de woofer wat tot compressie en resonanties zou kunnen leiden. Deze afschuiningen kunnen het beste gemaakt worden voordat de kast in elkaar wordt gezet. Verder zien we dat de poort aan de buitenzijde is voorzien van grote afschuiningen om turbulentie en dus hoorbare poortruis te minimaliseren. Deze poort is gemaakt van standaard, dikwandige PVC-buis met een buiten diameter van 40 mm. De totale lengte bedraagt 145 mm.

De demping van de kast bestaat uit het bekleden van alle binnenwanden, op de baffle na, met hoogpolig tapijt van een zware kwaliteit. Meestal heeft de plaatselijke stoffeerder nog wel wat reststukken liggen. Het tapijt wordt geheel verlijmd met de wanden en kan het beste worden geplaatst voordat de baffle er op wordt gemonteerd, zodoende is alles nog makkelijke bereikbaar. Verder blijft de kast van binnen helemaal leeg, dit is bewust gedaan om zo efficiënt mogelijk gebruik te kunnen maken van de energie die door de poort aan de achterzijde wordt uitgestraald. Tevens komt het de dynamiek ten goede omdat de kwaliteitsfactor Qmc van de woofer / kastcombinatie niet onnodig wordt verlaagd. Mocht het laag door een opstelling dicht tegen een wand toch vol klinken, dan kan het inwendige van de kast lichtjes worden gevuld met uitgeplozen schapenwol.

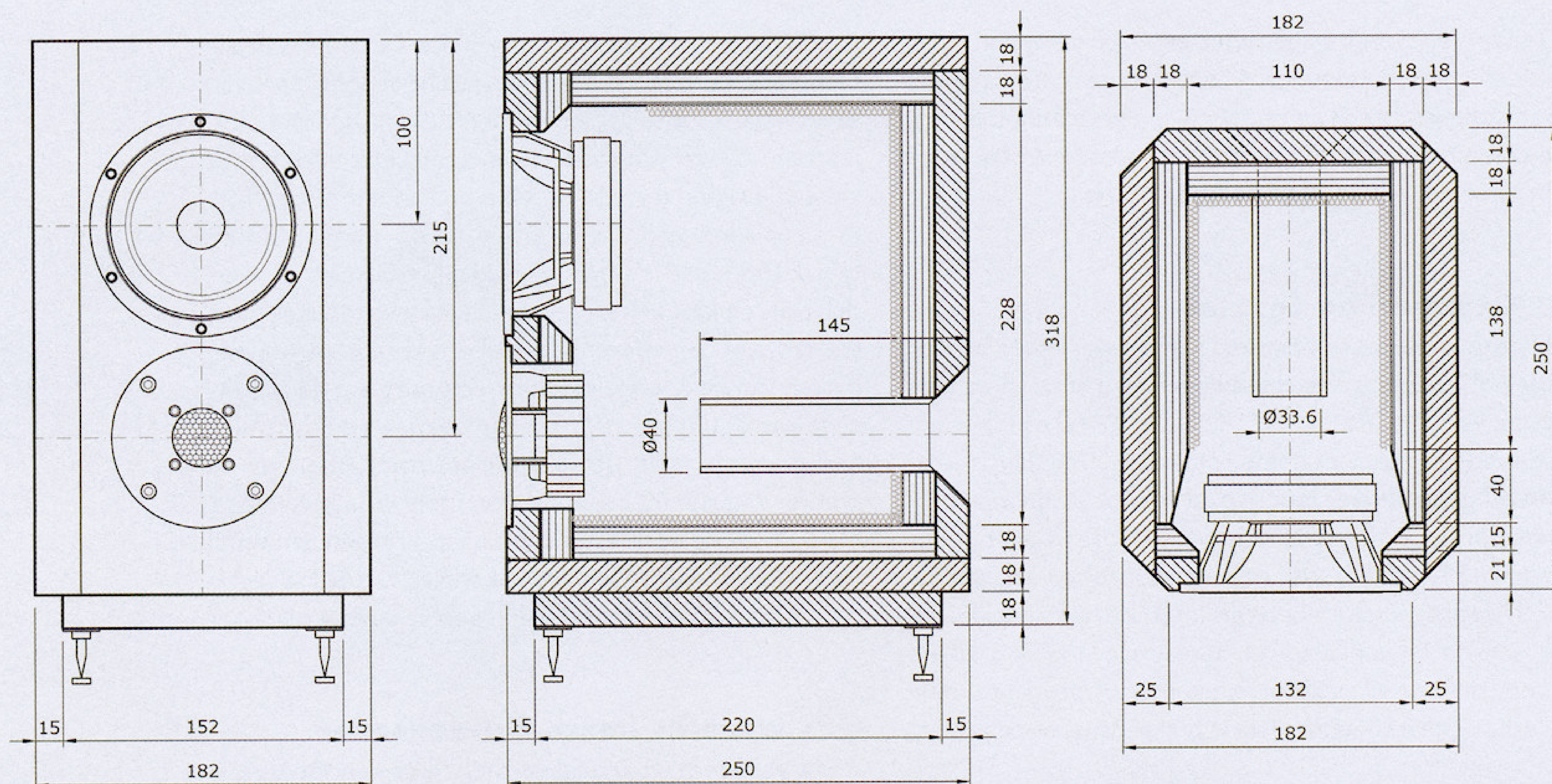
's Werelds beste condensator

Zoals eerder in dit artikel vermeld, was één van de uitgangspunten van dit ontwerp, door het gebruik van makkelijke drivers, om tot een zo eenvoudig mogelijk filter te komen. Daarmee kunnen we dan het filter componenten kiezen van zeer hoge kwaliteit, zonder dat het geheel al te kostbaar wordt. Voor het filter van de Paper Hatt is dan ook gekozen voor gehoormatig de beste condensator die er bestaat, namelijk helemaal geen condensator! Uit luistertests is gebleken dat zelfs de meest exotische high-end condensator toch een kleine mate van kleuring met zich meebrengt. Nu kan die kleuring worden gebruikt om de luidspreker een bepaald prettig klinkend karakter mee te geven en 99% van alle luidspreker filters bevatten één of meerdere condensatoren maar bij de Paper Hatt is gekozen voor een ander opzet om het karakter van de gebruikte drivers zoveel mogelijk te laten horen.

In dit geval gaat het om een seriefilter dat bestaat uit slechts twee spoelen en een aantal weerstanden. Een condensator komt in het hele ontwerp niet voor. Om de werking van dit type filter uit te leggen is het nuttig om de onderdelen één voor één langs te lopen en hun werking uit te leggen. De weerstanden R2, R3 dienen uitsluitend om het niveau van de tweeter op dat van de woofer af te stemmen. Spoel L1, die parallel aan de



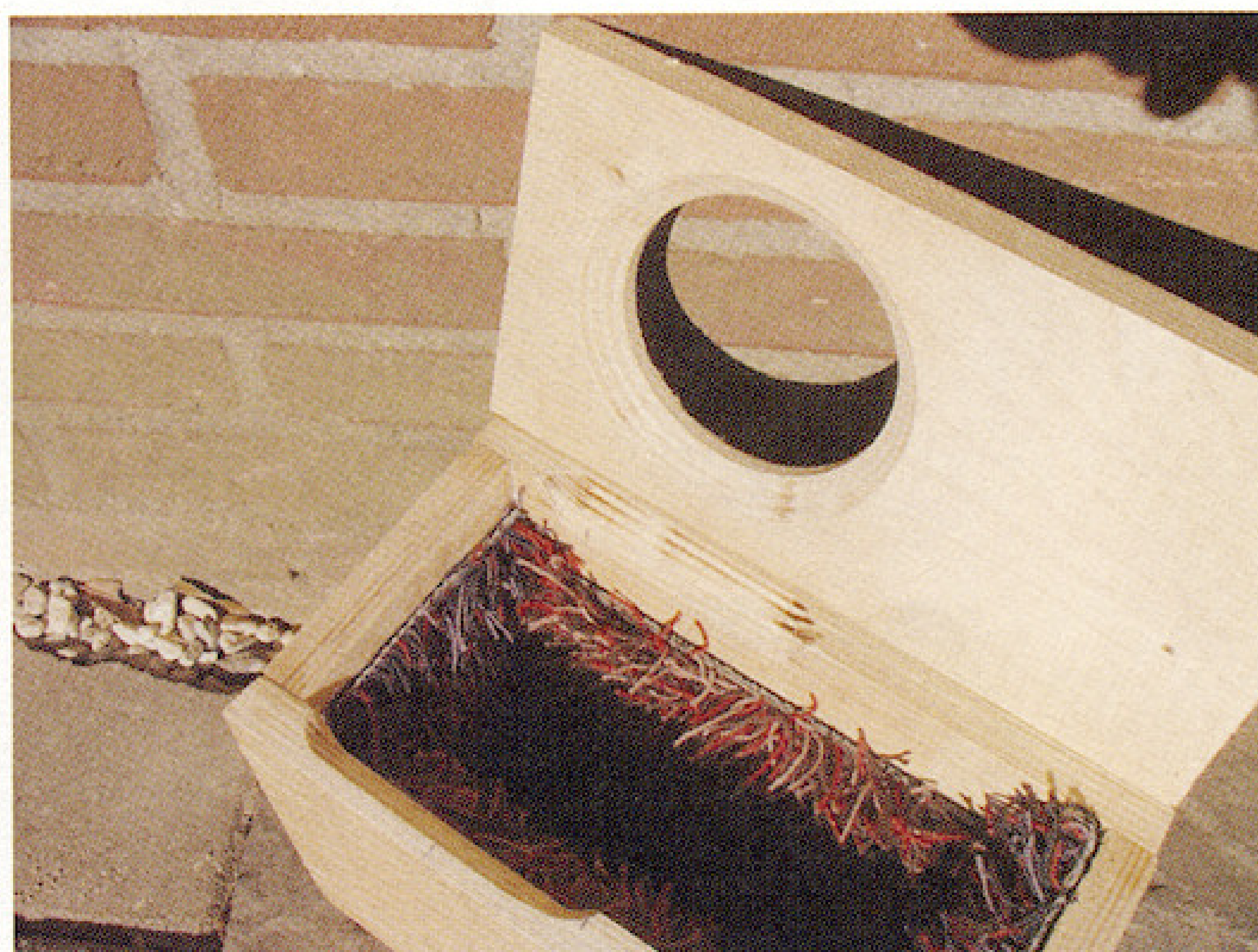
De onderdelen van de Paper Hatt.



Figuur 1.
De bouwtekening van de Paper Hatt.

tweeter is geschakeld, heeft dezelfde functie als een condensator die in serie zou staan met de tweeter en dient als 1e-orde hoogdoorlaat. Lage frequenties zien dus deze spoel niet en gaan via deze spoel naar de woofer. Heel belangrijk voor de optimale werking van dit hoogdoorlaat filter is dat spoel L1 een extreem lage gelijkstroomweerstand (Rdc) heeft. Hier is gekozen voor een luchtspoel met een Rdc van slechts 0,07 Ohm. Zou deze spoel een te hoge gelijkstroomweerstand hebben, dan zou de tweeter ook lage frequenties voor zijn kiezen krijgen, vervolgens gaan vervormen en waarschijnlijk defect raken. Op de kwaliteit van de componenten is niet bezuinigd en daarom treffen we hier een 12AWG koperfoliespoel aan, ook spoel L2 is van dit type. Hier is een lage Rdc ook belangrijk omdat zowel L1 als L2 in serie staan met de woofer, beide waarden moeten dus bij elkaar opgeteld worden en komen dan uit op circa 0,3 Ohm gelijkstroomweerstand.

De functie van spoel L2 is om de zogenaamde baffle-step te compenseren. Elke woofer in een behuizing laat bij een toenemende frequentie, een stijgende frequentiecurve zien. Dit komt doordat hoge frequenties zich bundelen en lage frequenties naar alle kanten afstralen. Hierdoor ontstaat er op de luisteras meer hoge tonen energie. Het punt waarbij de baffle-step optreedt hangt van de breedte van de behuizing af maar bevindt zich bij de meeste speakers in het gebied tussen de 500 tot 800 Hz. Door spoel L2 in serie met de woofer te schakelen worden de midden- en hoge tonen die de woofer uitstraalt op hetzelfde niveau gebracht als de lage tonen.



Het inwendige van de behuizing. Naast de bekleding van de binnenwanden zijn hier goed de diverse afschuiningen te zien.

Als laatste component blijft nog over weerstand R1. Deze weerstand heeft meerdere functies, om te beginnen werkt hij als een soort wegversperring voor zowel de hoge tonen als de lage tonen. Hoge tonen komen wel gedeeltelijk door omdat R1 niet oneindig groot is, zeker niet zo groot als de weerstand die zij zien in spoel L2 in combinatie met de zelfinductie van de spreekspoel van de woofer. Dus R1 heeft op de tweeter een soortgelijke werking als R2. Lage tonen zien weerstand R1 als een blokkade en volgen de weg van de minste weerstand naar de woofer via spoel L2. Verder heeft R1 als belangrijke taak ervoor te zorgen dat de versterker een prettige belasting ziet, zou R1 oneindig klein zijn dan zou de enige weerstand zijn die parallel over de aansluitklemmen van de versterker zou staan, die zijn van de gelijkstroomweerstand van spoel L1 en een beetje weerstand van de speakerkabels. De versterker zou dan onmiddellijk in de beveiliging schieten (als die functie erop zit). Als aardige bijkomstigheid vlakt R1 de impedantiepieken van de woofer/kast combinatie zodat deze nergens boven circa 6 Ohm uitkomen. Wel is het zo dat weerstand R1 flink belastbaar moet zijn, de gebruikte waarde van 7,83 Ohm is samengesteld uit zes 10 Watt weerstanden van 47 Ohm parallel.

L1 = 0,15 mH koperfoliespoel 12AWG; R = 0,065 Ohm
L2 = 1,50 mH koperfoliespoel 12AWG; R = 0,230 Ohm
R1 = 7,83 Ohm / 60 Watt MOX (6 x 47)hm / 10 Watt parallel)
R2 = 1,8 Ohm / 10 Watt MOX
R3 = 7,50 Ohm / 20 Watt MOX (2 x 15 Ohm / 10 Watt parallel)

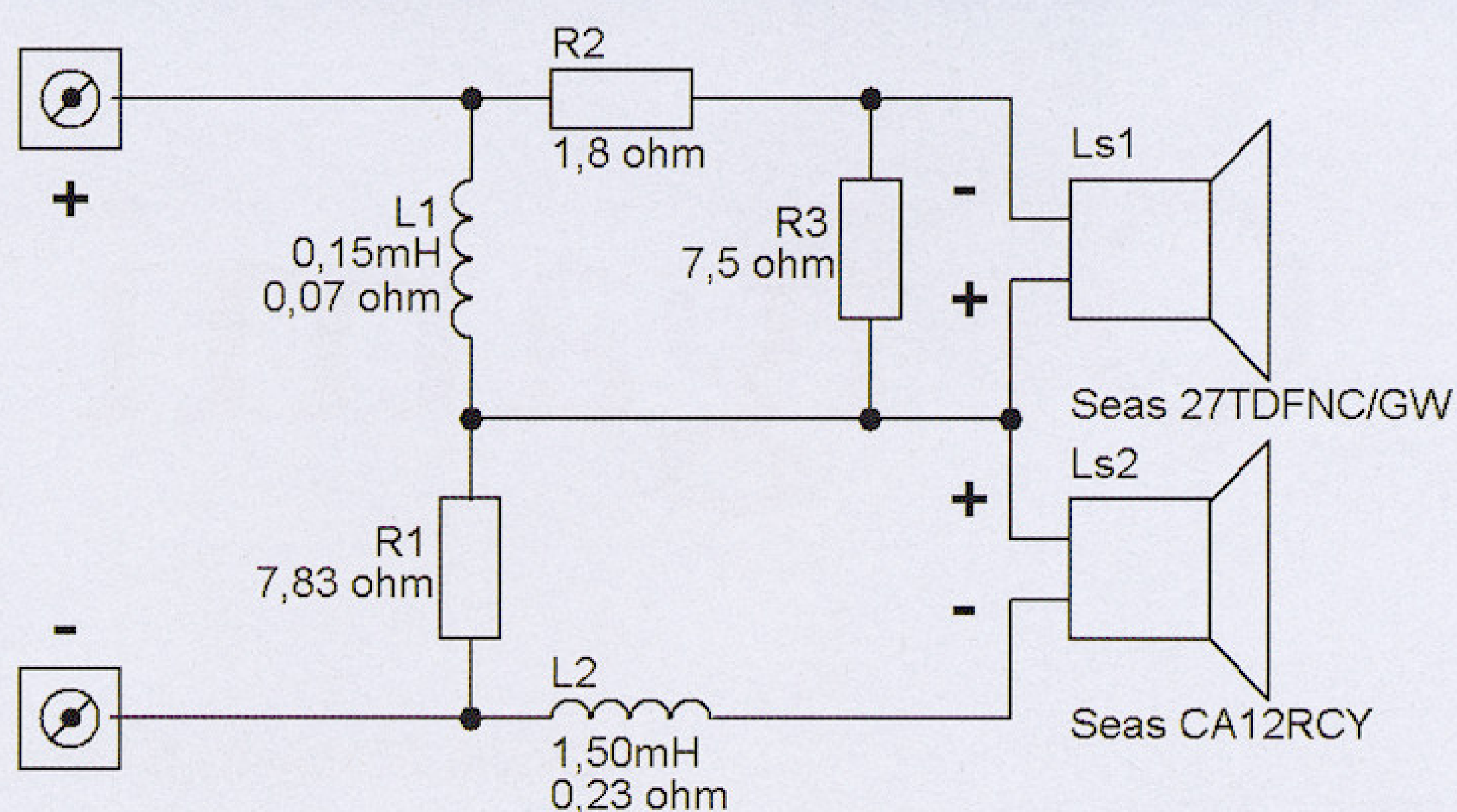
Luisteren en meten

Klein maar fijn gaat hier zeker op. Vrij opgesteld op een paar stevige standaards, waarbij het punt tussen de woofer en de tweeter zich op oorhoogte bevindt, zetten deze luidsprekers een heel volwassen beeld neer. Als je je ogen sluit heb je het gevoel naar veel grotere speakers te luisteren. Het karakter laat zich het best omschrijven als transparant en warm. Het laag is vol met voldoende diepgang, alleen de allerlaagste tonen blijven wat achter maar dat kun je ook niet anders verwachten van twee van zulke kleine kastjes. Het middengebied is heel open, doortekend en ruimtelijk, alle instrumenten en vocalisten staan los van elkaar en zijn goed te onderscheiden. Zelfs bij wat groter koorwerk (lastig voor de meeste luidsprekers) blijft het plaatje overeind. Verder is het hoog bijzonder transparant, waarbij de metaal-dome directer te werk gaat en de textiel-dome wat subtieler. Je hoort werkelijk elk detail in de opname, tijdens de luistersessie ontdekten wij nieuwe dingen op bekende cd's zoals het voorbij rijden van een auto buiten de opnameruimte. Zou dat liggen aan het condensatorloos filter? In elk geval is het verrassend wat deze bescheiden luidspreker allemaal laat horen.

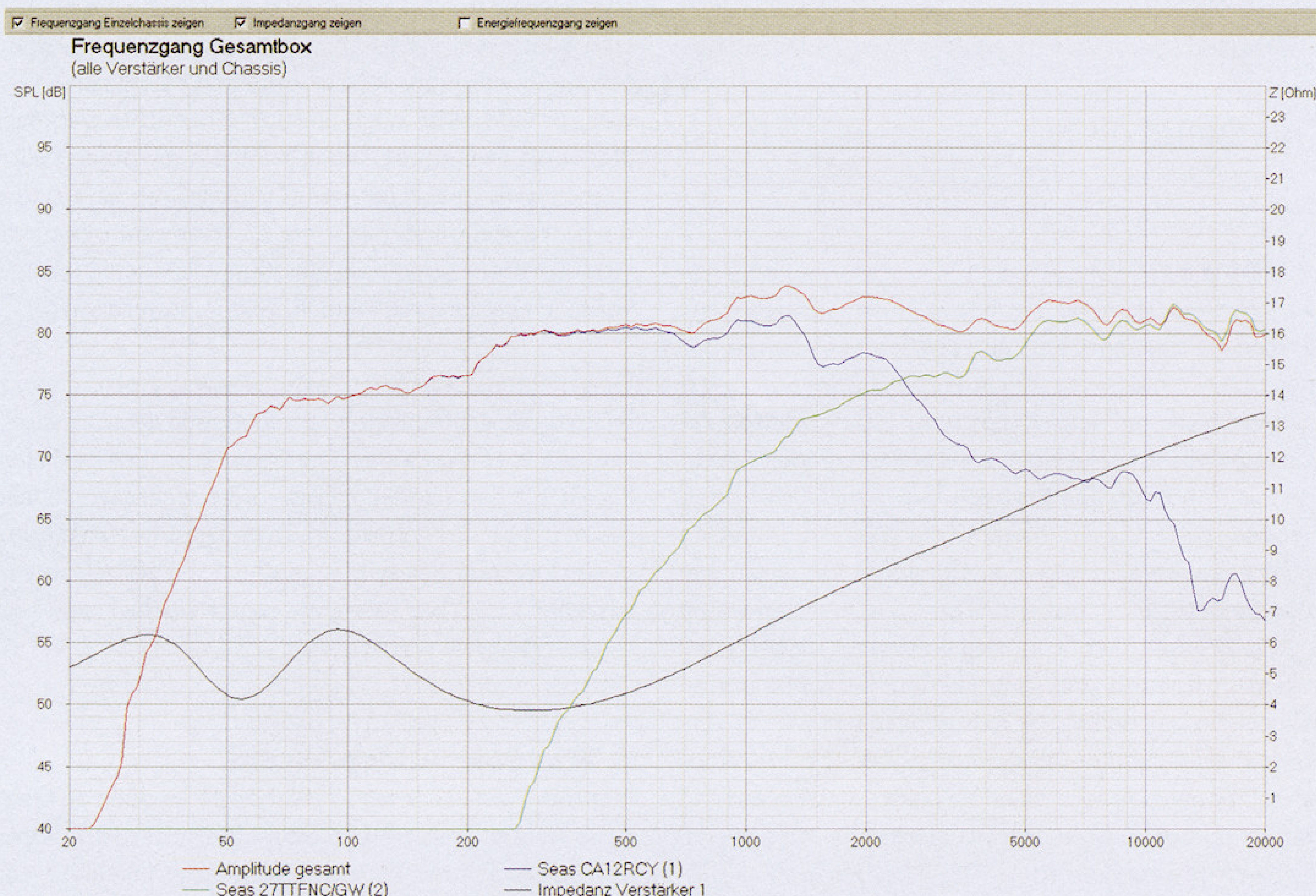
De metingen met ons systeem leverden een mooi vlakke frequentiecurve op, gezien het geringe aantal filter componenten een teken dat de gebruikte units zich makkelijk laten toepassen. Bij de impedantie curve is goed te zien dat de twee pieken in het laag, die worden veroorzaakt door de poort/kast combinatie, redelijk vlak worden getrokken door weerstand R1. De impedantie in het laag schommelt tussen de 4 tot 6 Ohm en loopt op in het hoog tot 13 Ohm bij 20 kHz. Te verwachten van een kleine luidspreker is het lage rendement van gemiddeld rond de 81,5 dB. Dit vraagt om een versterker met voldoende vermogen.

Specificaties

Naam:	Paper Hatt
Principe:	Tweeweg basreflex-systeem
Ontwerp:	Humble Homemade Hifi, Tony Gee
Woofer:	Seas CA12RCY
Tweeter:	Seas 27TTFNC/GW-H1461 of Seas 27TDFNC/GW-H1462
Scheidingsfilter:	2500 Hz, 6 dB/oktaaf
Afmetingen:	318x182x250 mm (hxbxd)
Netto inhoud:	4-liter
Belastbaarheid:	60 Watt
Prijs bouwkit:	€ 280,- per stuk (drivers + scheidingsfilter)
Website:	http://humblehomemadehifi.com
Email:	humblehomemadehifi@gmail.com



Figuur 2.
Het condensatorloos filter van de Paper Hatt.



Figuur 3.
De frequentie- en impedantiecurve van de Paper Hatt. Het lagere nivo in de frequentiecurve beneden circa 250 Hz wordt veroorzaakt door de meting in het vrije veld.



Compacte actieve subwoofer in twee smaken

Origami M en C

DOOR ROLAND BRETELER

Twee zeer compacte subwoofers, beiden op basis van de Wavecor SW263WA03-01 driver en de Caps&Coils 250 Watt klasse D versterker. Een subwoofer met een gesloten kast voor muziek weergave en een iets grotere basreflex versie voor hometheatre gebruik. De gebruikte luidspreker drivers en de versterkermodule zijn beiden nieuw op de Nederlandse markt en afkomstig uit het Verre Oosten.

Ontwerp

De naam Origami is afgeleid van een goocheltruc waarbij de assistente van de goochelaar in een kubus met zijden van pakweg 30 cm verdwijnt. Het uitgangspunt van beide ontwerpen is dan ook om de grenzen van compactheid te verkennen, zonder aan weergave kwaliteit in te boeten. De gekozen Wavecor driver heeft hier zeer geschikte parameters voor. Het uitzonderlijke is dat deze driver zowel in een gesloten kast als in een basreflex kast zeer mooi presteert. De gesloten versie is geoptimaliseerd voor muziek weergave. De basreflex kast voor hometheatre gebruik. Een blik op de bouwtekeningen laat zien dat de behuizingen inclusief de versterker geen centimeter kleiner konden. Een subwoofer zelf bouwen is voor velen de eerste stap op het pad van de zelfbouw, er is daarom gekozen voor eenvoudig na te bouwen kasten.

Gesloten of basreflex?

Een subwoofer voor muziek weergave stelt andere eisen aan de maximale geluidsdruk en laagweergave dan een subwoofer voor hometheatre. Op de meeste cd's is er nauwelijks signaal onder de 40 Hz te vinden. Dit in tegenstelling tot dvd's, daar is vooral in het actie & spektakel genre veel signaal onder de 40 Hz aanwezig. Waar een subwoofer voor muziek onder de 40 Hz nauwelijks meer in actie hoeft te komen, begint het echte werk hier pas voor een goede hometheatre subwoofer. Voor muziek weergave is een gemis aan laagweergave onder de 40 Hz veel minder storend als voor een hometheatre subwoofer. Zeker als we dit gemis kunnen inruilen voor een grotere nauwkeurigheid in de weergave.

De genoemde verschillen tussen de twee typen subwoofers komen grotendeels overeen met de verschillen tussen een basreflex en een gesloten kast. Een basreflex kast heeft een minder nauwkeurige weergave als een gesloten kast. En een woofer in een gesloten kast komt in een kast met het zelfde volume nooit zo laag als een basreflex kast. Maar daar staat echter wel een nauwkeurigere weergave tegenover.

Wavecor luidsprekers

Het merk Wavecor is in 2005 opgericht door de Deen Allan Isaksen. Allan is een ex-medewerker van Vifa en Scanspeak. Hij ontwierp als akoestisch ingenieur een

aantal beroemde Vifa drivers en zette daarna de eerste productielijn voor het Deense Tymphany (Vifa, Scanspeak en Peerless) in China op. De mensen achter Wavecor zijn gepokt en gemazeld in kwaliteitscontrole en het ontwerpen van luidspreker drivers. Ze specialiseren zich in hoogwaardige luidsprekers die ze in kleine oplages maken. Ondanks de Chinese herkomst zijn de Wavecor drivers zeer goed afgewerkt en dankzij de Chinese afkomst ook nog eens zeer betaalbaar.

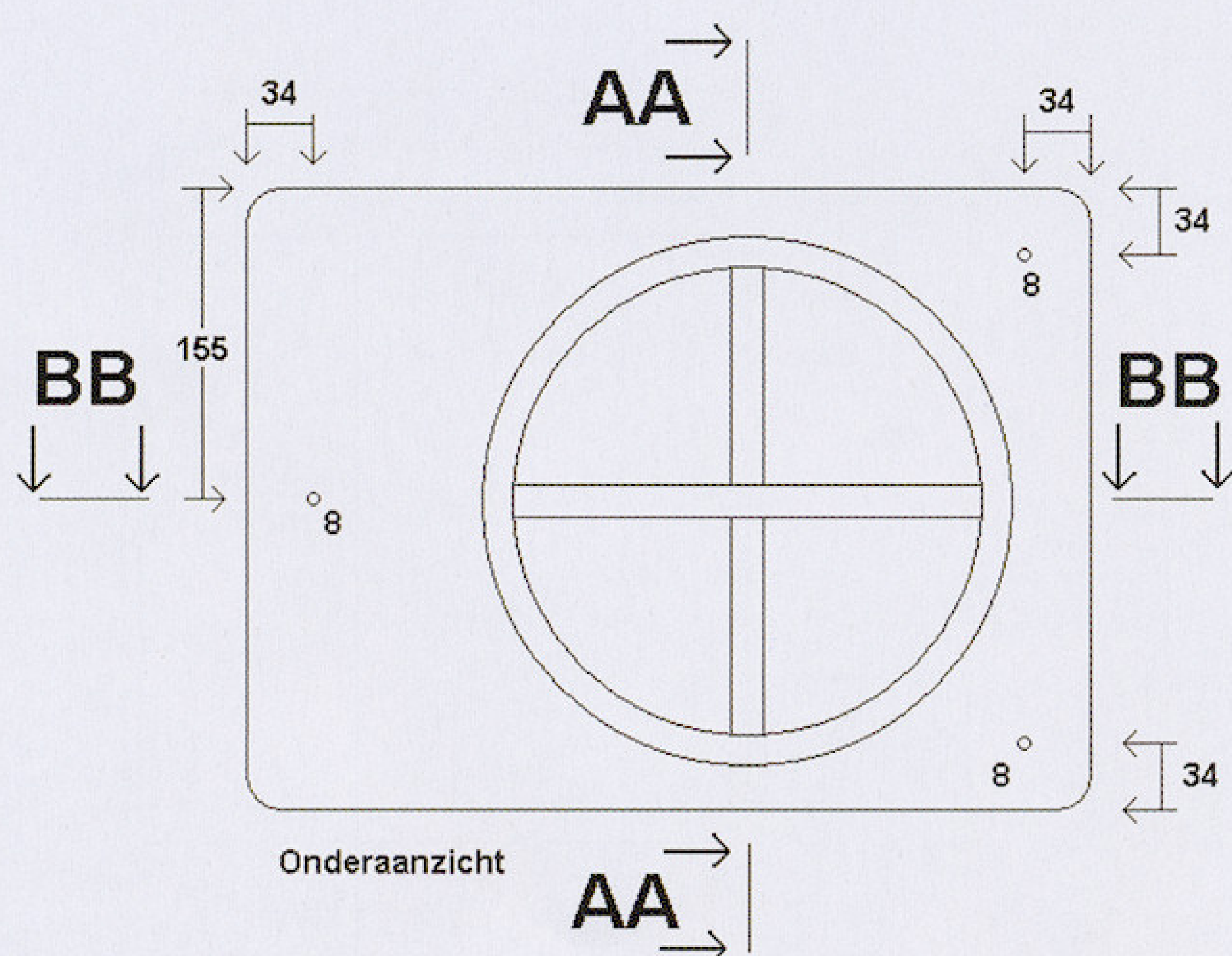
Wavecor SW263WA03-01

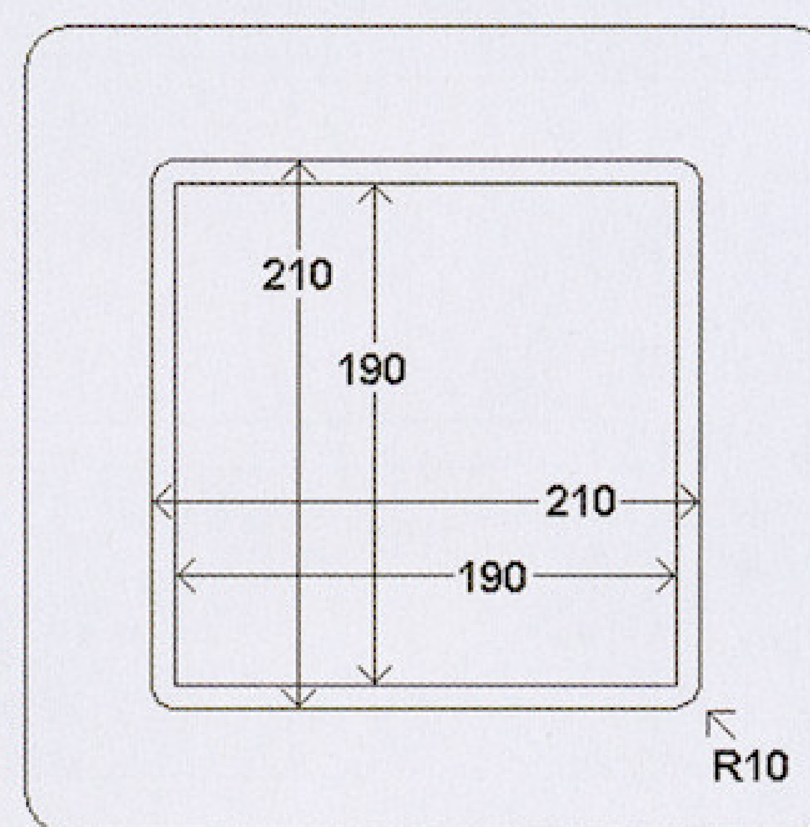
De Wavecor subwoofer met de poëtische naam SW263WA03-01 heeft een zeer stevige aluminium conus met een diameter van 26 cm. En is uitgerust met zeer praktische Thiel Small Parameters: Rdc 4 Ohm, Fs 27 Hz, Qm 18.8, Qt 0.41, Qe 0.43, Vas 31 liter en een Xmax van 11.5 mm. Deze parameters maken de driver zeer geschikt voor gebruik in een basreflex of een gesloten kast. In een gesloten kast van 23 liter heeft deze driver een -3dB punt van 41 Hz. In een basreflex kast van 30 liter ligt het -3 dB punt op 24 Hz.

De stevige gegoten aluminium korf heeft een groot aantal openingen om compressie van lucht achter de driver of achter de spider en spreekspoel tegen te gaan. Er is bij deze subwoofer driver alles aan gedaan om een zo laag mogelijke Rms waarde te krijgen. Deze Rms waarde die uitgedrukt wordt in kg/sec is een goede indicatie voor hoe dynamisch een weergever kan reageren op het aangeboden signaal en de gevoeligheid ervan. De motor is verder voorzien van impedantie kortsluitrin-

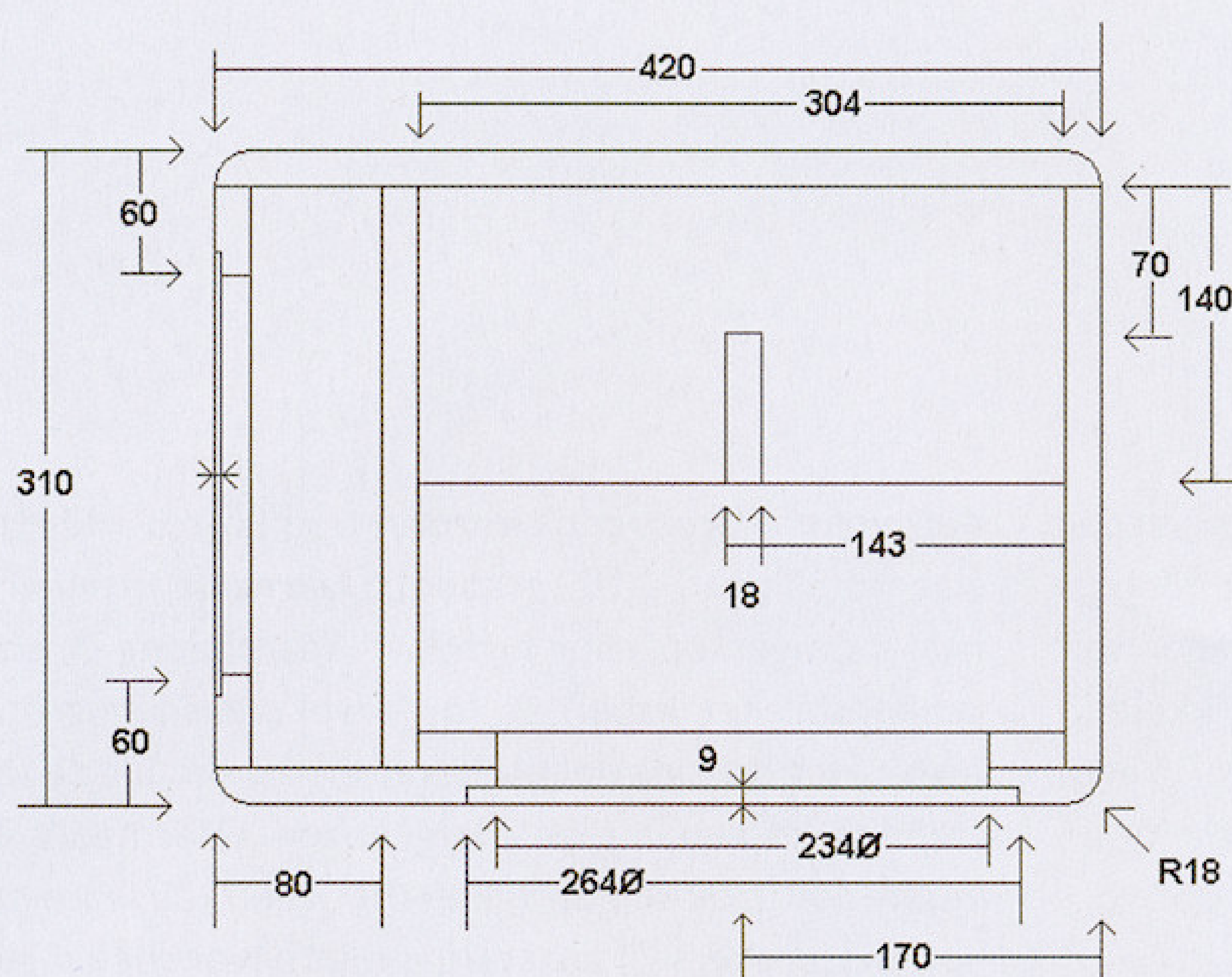
bouwtekening Origami M

Origami M

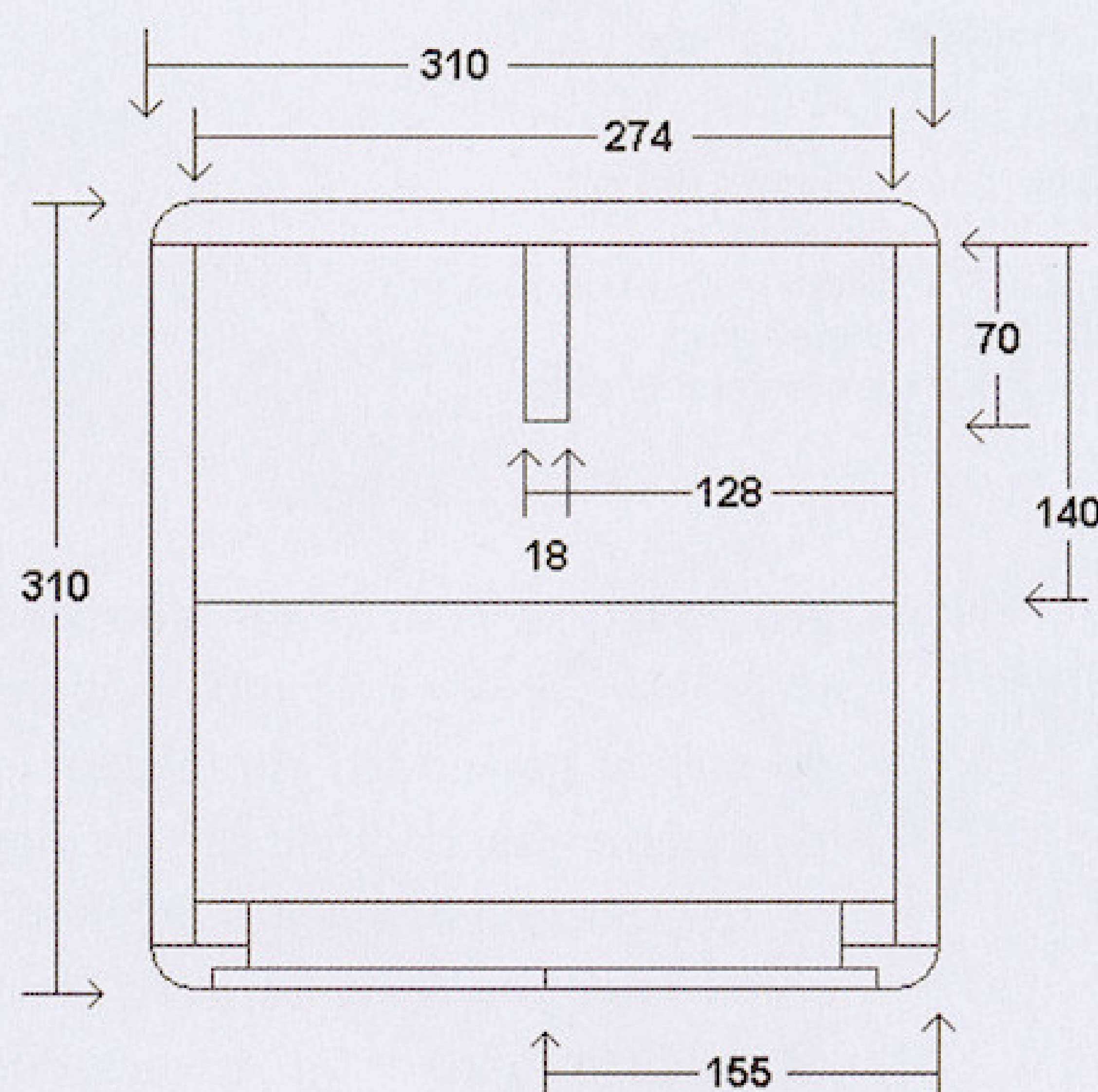




Inbouwmaten versterker



BB

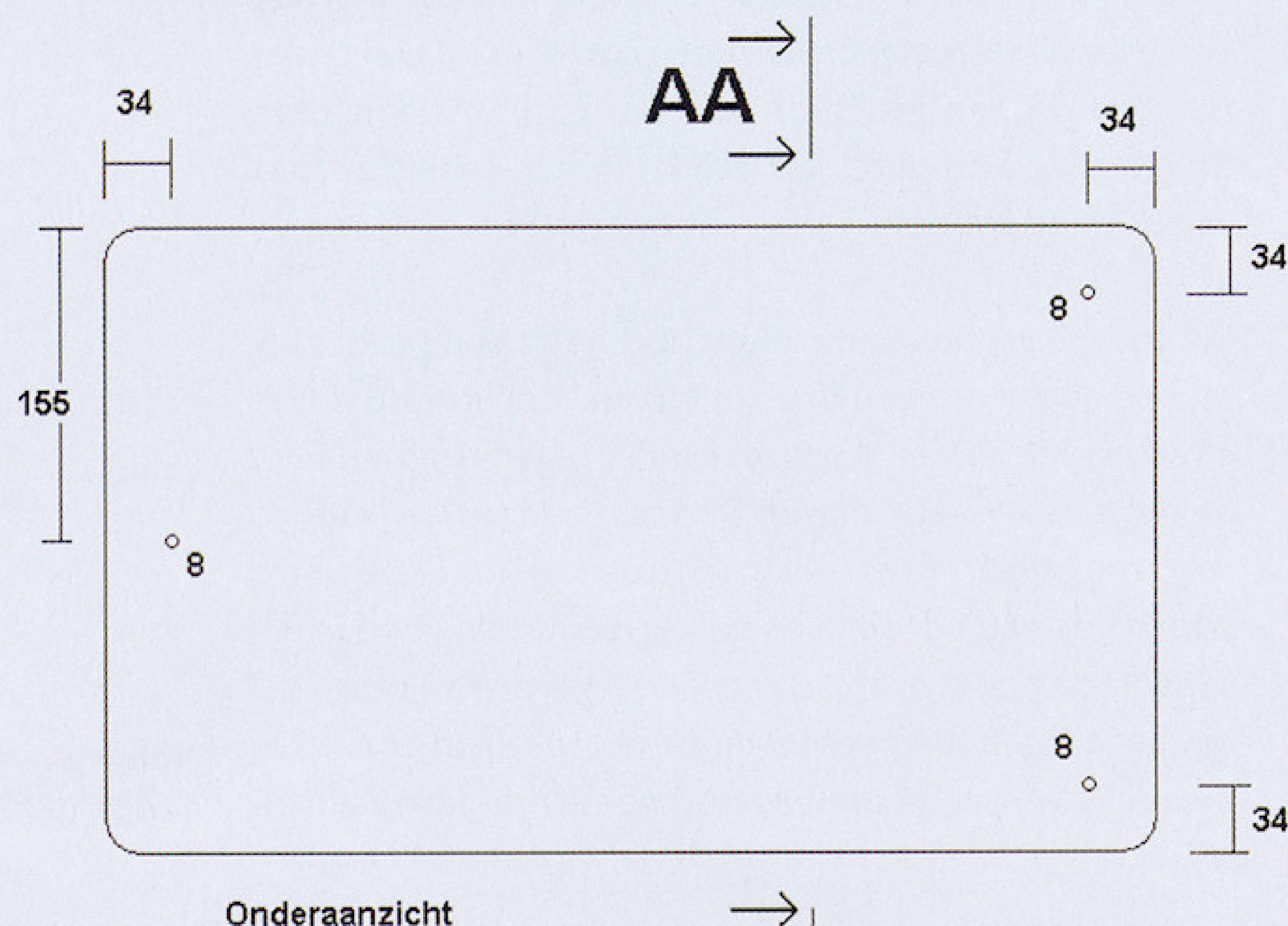


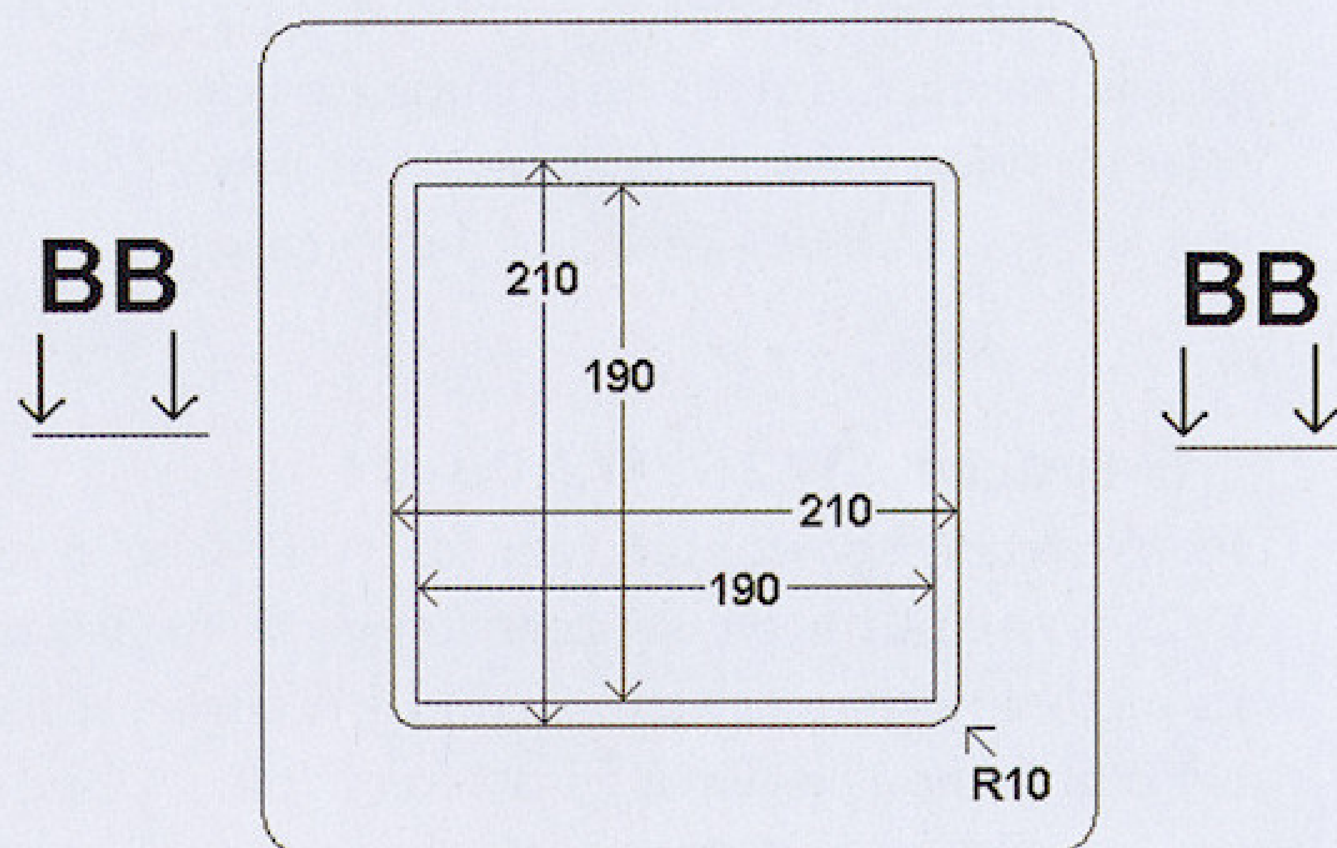
AA

Origami M Houtlijst

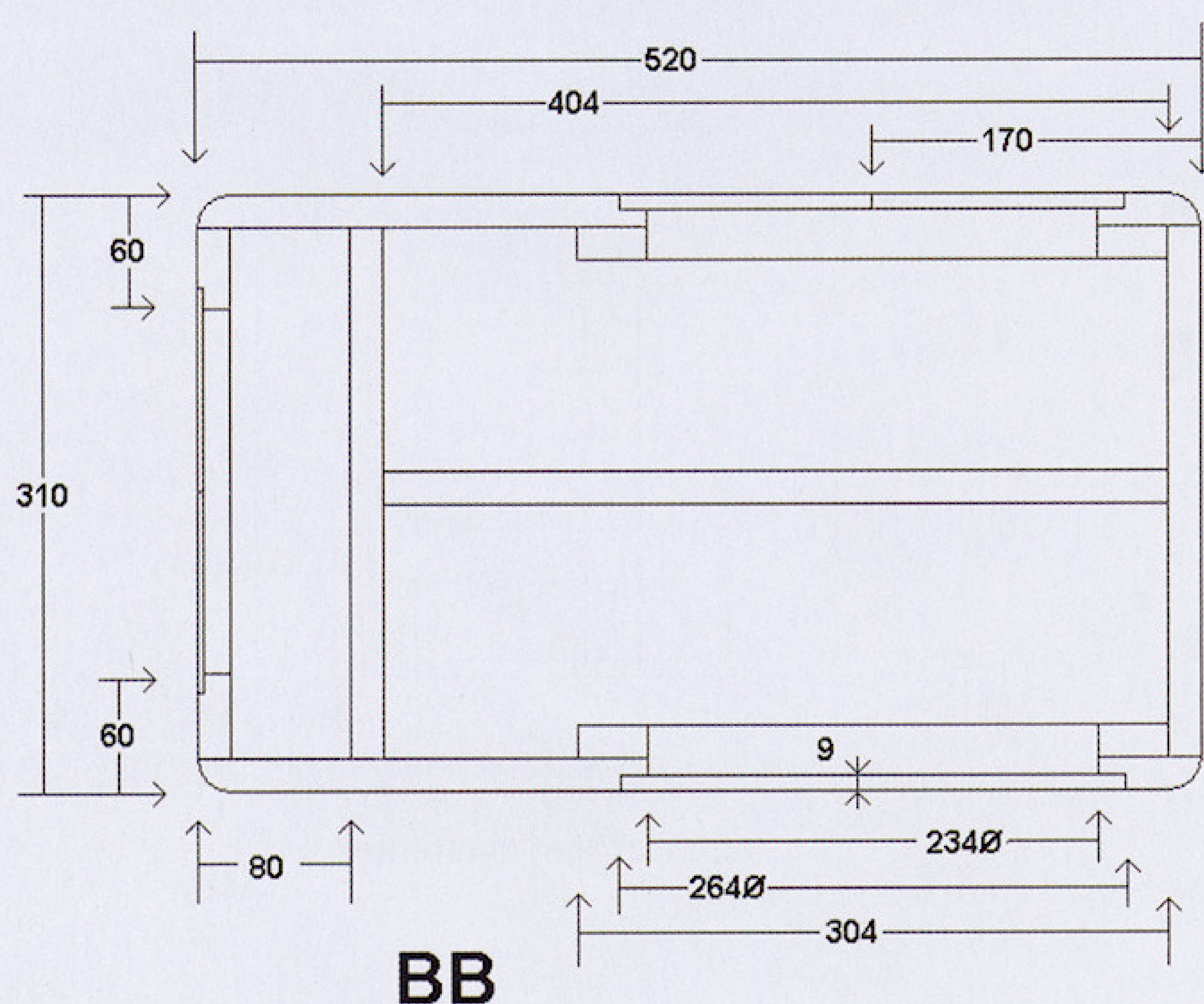
18mm MDF
2 stuks 420 X 310 bodem en deksel
2 stuks 420 X 274 zijkanten
3 stuks 274 X 274 zijkant en binnenwerk
1 stuk 274 X 140 kruis versteviging
1 stuk 304 X 140 kruis versteviging
1 stuk 304 X 274 woofer versteviging

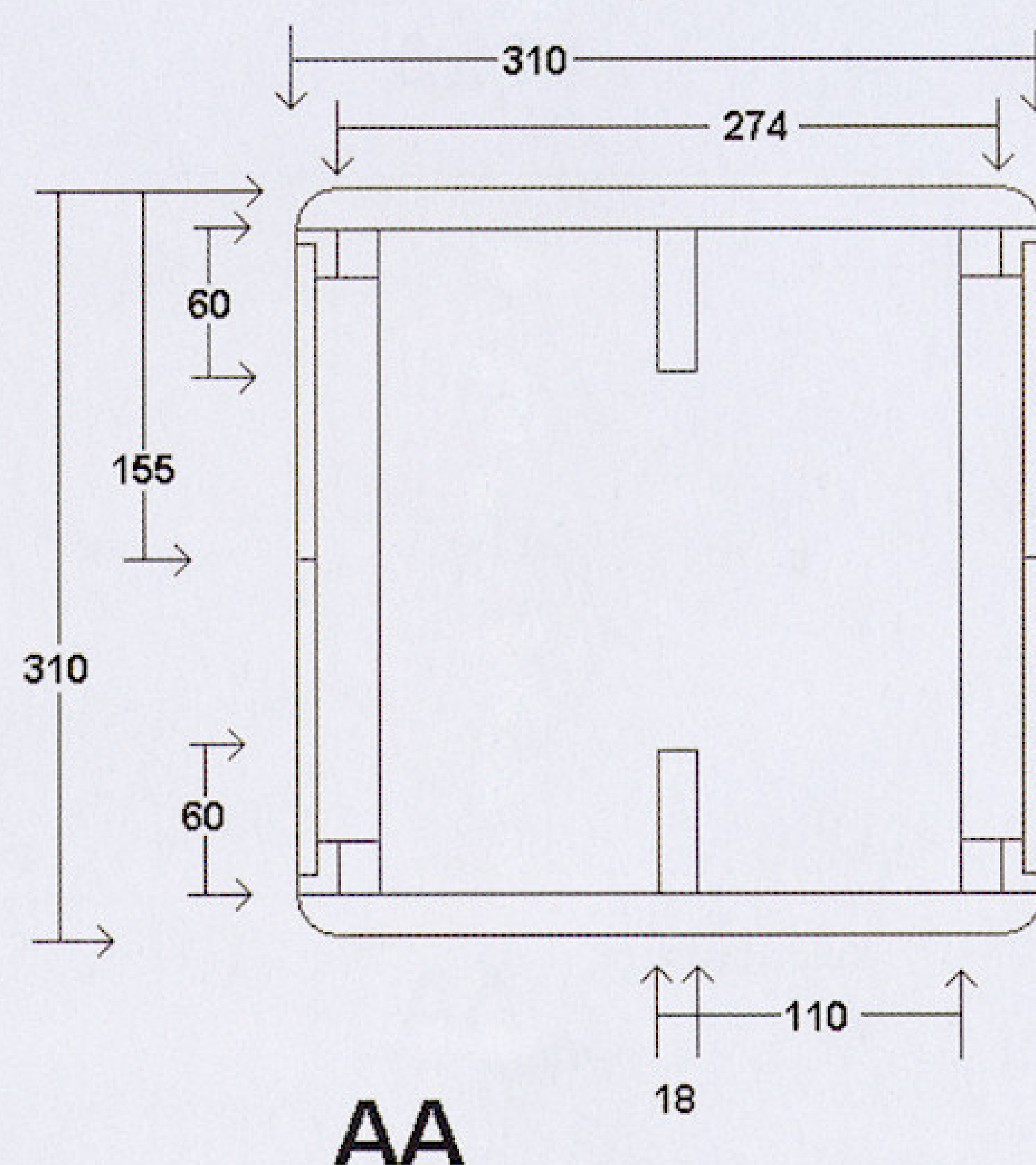
Origami C





Inbouwmaten versterker





Origami C Houtlijst

18mm MDF
2 stuks 520 X 310 bodem en deksel
2 stuks 520 X 274 zijkanten
3 stuks 274 X 274 zijkanten en binnenwerk
2 stuks 404 X 60 versteviging
2 stuks 274 X 304 wooferversteviging

bouwtekening Origami C

gen zodat de inductie van de spreekspoel niet verder stijgt dan pakweg 0.85 mH. Een ander saillant detail is de dubbel gewonden spreekspoel op een drager van zwart fiberglas, bedoeld om de warmte ontwikkeld in de spreekspoel beter af te kunnen voeren. De Wavecor is daarmee, in tegenstelling tot de meerderheid van de uit China afkomstige drivers, dus erg goed ontworpen en fraai afgewerkt.

Klasse D versterking uit Taiwan

De Caps&Coils 250 D subwoofer versterker wordt op speciaal verzoek van Caps&Coils in Taiwan geproduceerd. Het is een zo eenvoudig mogelijk gehouden subwoofer versterker. Met de volgende instelmogelijkheden: volume, frequentie instelling (35 Hz tot 180 Hz) en fase instelling (0 – 180 graden). Daarnaast zitten er signaal ingangen op voor high level (aansluiting direct op de luidspreker kabel) en low level (aansluiting op lijn nivo). Het benodigde inschakel signaal om uit de slaapstand te komen is zeer laag gekozen. Daarmee is deze versterker ook te gebruiken met zeer efficiënte satelliet luidsprekers of aansturing met bijvoorbeeld kleine buizenversterkers via de luidspreker uitgangen. Om deze subwoofer versterker breed inzetbaar te houden is ervoor gekozen om van een vaste bassboost af te zien.

De versterker maakt gebruik van Klasse D technologie en levert 250 Watt aan 4 Ohm (<1% THD). Een bijzonderheid is de zeer compacte bouwwijze. De inbouwma-



ten zijn 190 mm in het vierkant bij een diepte van 82 mm. Het gebruik van een geschakelde in plaats van een reguliere voeding maakt deze zeer compacte afmetingen mogelijk. Het is immers zonde om kastvolume te verspelen door het gebruik van een versterker met forse inbouwmaten.

Origami M en C

De toevoeging C achter Origami staat voor Cinema. Dit ontwerp is uitgevoerd met een passieve radiator. Een passieve radiator werkt volgens hetzelfde massa-veer principe als een basreflex poort. De massa van de luchtkolom in de poort is hier echter vervangen door de massa van de passieve radiator. Het voordeel van een passieve radiator is na de eerste kast berekeningen al snel duidelijk. Een poort met een redelijke doorsnee van 10 cm heeft een lengte van 1 meter. Dat past simpelweg niet in de behuizing zonder allerlei vervelende poort bijwerkingen te introduceren. Als passieve radiator gebruiken we de Wavecor SW26PASS, dit is feitelijk een Wavecor 26 cm woofer zonder magneet. Deze passieve radiator wordt geleverd met een aantal gewichten en een afstemtabel.
De toevoeging M achter Origami staat voor Music. Deze gesloten kast is afgestemd op een totale Q van 0.65. Een nog kleinere behuizing zou mogelijk zijn maar dan komt er al snel een ander probleem om de hoek kijken; lucht gedraagt zich bij compressie namelijk niet lineair. Dit effect zorgt er bij grotere uitslagen voor dat er extra vervorming geïntroduceerd wordt. Zodoende mag de kastinhoud dus niet té klein gekozen worden. De nadruk bij dit ontwerp ligt op een nauwkeurige, strakke en snelle weergave.
De afstemming van beide subwoofers is gedaan met het programma AJ-horn. Een veelzijdig computerprogramma dat niet alleen hoorn en transmissielijnen exact kan berekenen maar ook geschikt is voor het simuleren van basreflex en gesloten kasten. Dit programma neemt als één van de weinigen de inductie van de spreekspoel mee in de afstemming. De spreekspoelinductie speelt een grotere rol in de afstemming van de kast dan door menigeen gedacht wordt. Er is bij de cinema subwoofer gekozen voor een zo diep mogelijk doorlopende basweergave. Dit gaat op papier ten koste van de nauwkeurigheid van de weergave ten opzichte van een hoger en meer op exacte impuls weergave afgestemde basreflex kast. In de praktijk hebben we de trage reactie van de poort/ passieve radiator verplaatst naar een frequentiegebied waar ons gehoor niet zo gevoelig is.

De passieve radiator is op 16 Hz afgestemd, gelijk aan de eigen resonantie van deze radiator. Er hoeft dus geen extra gewicht bevestigd te worden aan de passieve radiator. De zeer lage Vas waarde van deze driver heeft niet alleen een gunstig effect op het benodigde kast volume, onder de resonantie frequentie van de passieve radiator voorkomt de lage Vas waarde al te grote conus uitslagen.

De kasten

Beide kasten zijn zo eenvoudig mogelijk gehouden en uitgevoerd in MDF met een dikte van 18 mm. Voor de gesloten kast is gekozen voor een naar de vloer afstralende woofer. De cinema subwoofer heeft de conussen tegenover elkaar gemonteerd aan de zijkant zitten. Over smaak valt te twisten, maar de auteur vindt het uiteindelijke resultaat erg fraai geworden zo, zeker als de kasten zoals op de foto's te zien in hoogglans zwart zijn uitgevoerd. De getoonde uitvoering heeft rondom een afronding van 18 mm, dit is puur voor de sier, een kast met afgeschuinde of stompe zijden klinkt precies hetzelfde. De subwoofer versterker heeft in beide ontwerpen een eigen compartiment gekregen om hem te beschermen tegen ongewenste trillingen en al te grote druk verschillen. De extra kast versteviging door het aparte versterker compartiment is mooi meegenomen. De extra 18 mm versteviging onder de woofer opening is broodnodig. Beide woofers worden namelijk 9 mm verzonken gemonteerd. Zonder de extra laag van 18mm MDF blijft er wel erg weinig materiaal over om de woofers in vast te zetten. De extra laag verstevigt ook effectief dit zwakke punt in de kast.

De Wavecor woofers kunnen goed gebruikt worden met de conus naar de vloer wijzend. De stijve ophanging maakt dit mogelijk. Een punt van aandacht bij deze bouwwijze is de ruimte tussen de vloer en de conus. We raden minimaal 50 mm ruimte aan tussen de rand van de korf en de vloer, zodat de conus nooit de vloer raakt als er grote slagen gemaakt worden. We hebben een spike gevonden met een lengte van 55 mm die uitstekend geschikt is om de subwoofer de benodigde grondspeling te geven.

Conclusie

Beide Origami subwoofers combineren op het eerste gezicht een zeer compacte kast met indrukwekkende specificaties op papier. Gelukkig weten ze ook in het dagelijkse gebruik te overtuigen. De gesloten variant, Origami M, klinkt net een tik nauwkeuriger dan de variant met de passieve radiator. Deze subwoofer vormt

Wavecore 26-cm passieve radiator

Wavecor 26-cm woofer



een prima aanvulling op bijvoorbeeld basreflex hoofdluidsprekers met een woofer diameter vanaf zo'n 17 cm. Als de basreflex poorten van de gebruikte hoofdluidsprekers gedicht worden kan men rekenen op een duidelijke toename van de dynamiek en nauwkeurigheid van de weergave in het laag.

De Origami M subwoofer heeft waarschijnlijk door de zeer lage afstemming van de passieve radiator weinig last van het typische bonkerige geluid wat men over het algemeen met basreflex kasten associeert. Wat dat betreft schiet dit ontwerp zijn doel voorbij; deze hometheatre subwoofer is ook prima te gebruiken als subwoofer voor muziekweergave. We zouden deze subwoofer willen aanraden daar waar een hoge maximale geluidsdruk en zeer ver doorlopend laag de voorkeur heeft.

Er wordt wel eens schertsend beweerd dat een professional een subwoofer 6 dB te hard instelt en een gemiddelde consument 12 dB. De juiste afstelling is gevonden als de subwoofer alleen hoorbaar is als er daadwerkelijk laag in de opname aanwezig is. Beide ontwerpen zijn vrij van de bijgeluiden die normaal gesproken verraden dat er een subwoofer in het spel is. Je zet ze dus gemakkelijk te hard. Neem wat dat betreft de tijd om de subwoofer goed in te regelen, dat komt de weergave duidelijk ten goede.

Ontwerp: Roland Breteler, Caps & Coils/Crafty
Website: http://www.capsandcoils.com

Specificaties

	Origami M Muziek subwoofer	Origami C Cinema subwoofer
Systeem	Gesloten kast Q 0.65	Bassreflex
Afmetingen: mm	310 x 310 x 420	310 x 310 x 520
Kast volume: liter	23	30
-3dB punt en bereik: Hz	41 - 200	24 – 200
Max spl @ -3 dB (half space)	104 dB	106 dB
Demping: zie tekening	BAF wadding of wol	Vilt 10 of 8 mm
Caps&Coils 250D		
Versterker principe:	Klasse D	Klasse D
Afmetingen buitenkant: mm	210 x 210 x 80	210 x 210 x 80
Inbouw afmetingen: mm	190 x 190 x 76	190 x 190 x 76
Dikte front plaat: mm	4	4
Versterker vermogen: Watt	250 @ 4 Ohm (<1%THD)	250 @ 4 Ohm (<1%THD)
S/N ratio @ rated power: dB	>90	>90
Instelbereik fase: graden	0 - 180	0 - 180
Instelbereik laag doorlaat: Hz	35 -180 12dB/okt.	35 - 180 12dB/okt.
Onderdelenlijst		
Caps&Coils 250D	149.- euro	149.- euro
Wavecor SW263WA03 (4 Ohm)	199.- euro	199.- euro
Wavecor PR263WA01	-	129.- euro
Spikes (optie)	22.50 euro	22.50 euro
Mdf (schatting)	10.- euro	10.- euro
Totaalprijs ex.mdf	370.50 euro	499.50 euro

R&S Smart instruments™

Gezinsuitbreiding

De UP300 en UP350 Audio Analyzers maken de familie compleet

Naast de AM300 Arbitrary Waveform Generator, de SM300 RF Signal Generator en de FS300 Spectrum Analyzer omvat de Rohde & Schwarz „Smart Instruments" lijn nu ook twee geavanceerde maar toch betaalbare audio analyzers.

De UP300 voor analoog audio bestrijkt een frequentiegebied van 10 Hz tot 80 kHz en is uitgevoerd met twee identieke in- en uitgangen.
De UP350 is daarnaast extra uitgerust met digitale interfaces met samplefrequenties van 32 kHz tot 192 kHz.



Beide analyzers genereren enkel- of tweekanaals sinus-en multitoonsignalen. Daarbij beschikken ze over professionele audiomeetfuncties zoals: THD, SINAD, RMS/PEAK-level en 16K FFT met verschillende window-functies.

Kort gezegd, compacte betaalbare audio analyzers met high-end functies. Prijs al vanaf 6.700,- Euro. Voor een demonstratie of meer informatie kunt u bellen met 030-6001721 of neem een kijkje op de UP300-website:
www.up300.rohde-schwarz.com



ROHDE&SCHWARZ

Rohde & Schwarz Nederland B.V. – Postbus 1315 – 3430 BH Nieuwegein
Tel: 030-6001700 – E-mail: info.rsn@rohde-schwarz.com – Website: www.rohde-schwarz.nl

Meerweg open-baffle systemen

Basistheorie, ontwerp en meetmethode

DOOR JEROEN DEZAIRE

In dit achtergrond artikel wordt ingegaan op het ontwerp van open-baffle systemen. Open-baffle systemen met een enkele breedbander worden buiten beschouwing gelaten, de aandacht gaat uit naar meerweg systemen die het volledige frequentiebereik met voldoende druk kunnen weergeven. Analoog aan het ontwerp van traditionele luidsprekers wordt uitgelegd hoe woofers, middentoners en tweeters dan dienen te worden ingezet.

De kern van open-baffle systemen draait om het gebruik van de zogenaamde 'backwave', het geluid dat door dynamische luidsprekers naar achteren wordt afgestraald. De backwave wordt zo min mogelijk gedempt, hij wordt niet opgesloten in een kast en zal dus niet via de wanden van een behuizing terugkaatsen en vertraagd en vervormd door de conus van de luidspreker naar buiten komen. Dit zorgt ervoor dat de conus volledig vrij kan bewegen, het typische kastgeluid wordt vermeden. Er worden geen krachten op de conus uitgeoefend anders dan de actie/reactiekracht als gevolg van het eigen heen en weer bewegen. Een vrije opstelling van het open-baffle systeem is vereist, zodat de backwave zich niet te snel via reflecties mengt met het naar voren afgestraalde geluid. Dit zou tot versmering en kleuring leiden en ten koste gaan van de plaatsing van vocalen en instrumenten.

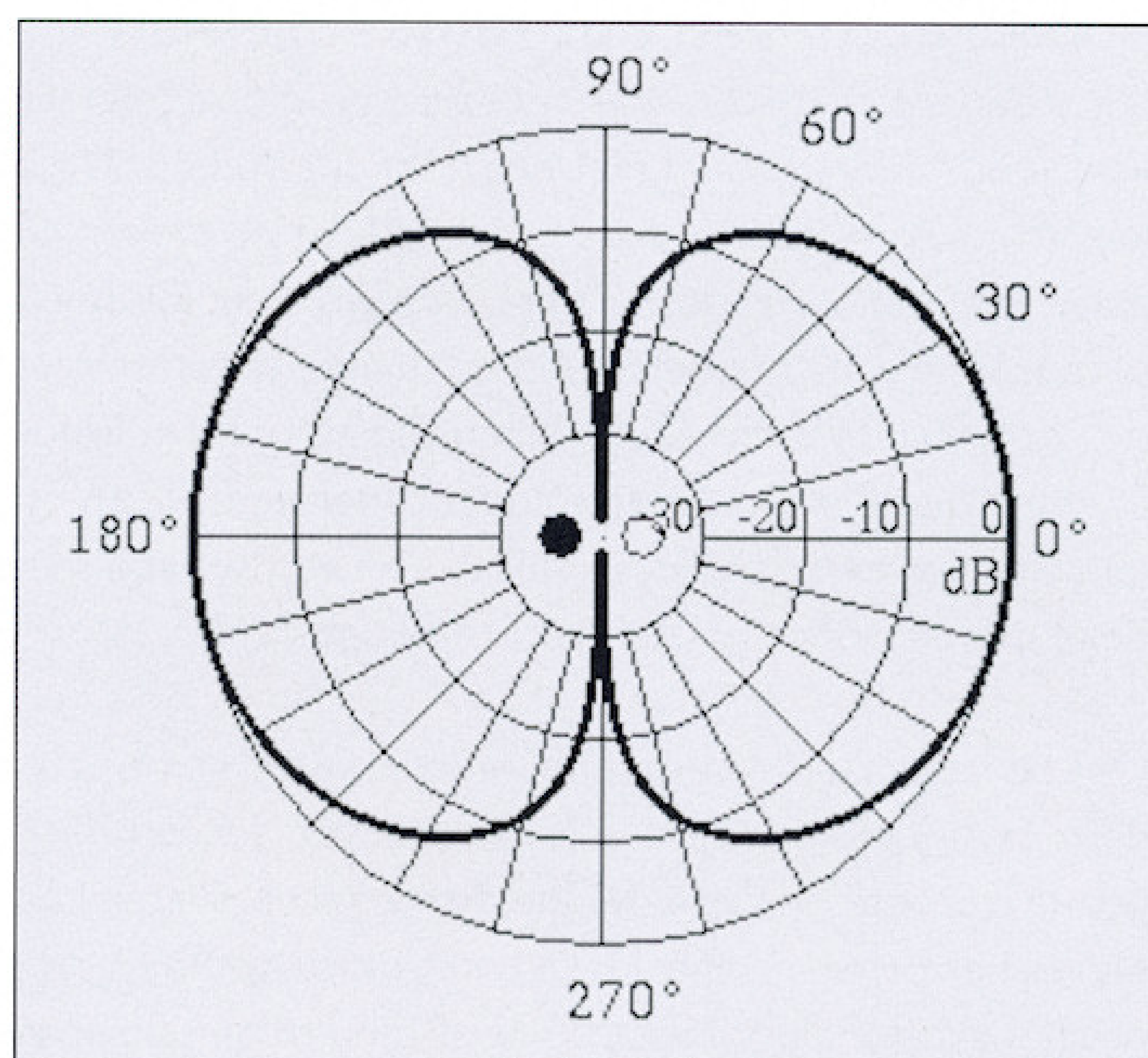
Het feit dat de backwave vrij wordt gelaten heeft bijzondere consequenties. Een open-baffle systeem vertoont namelijk gedrag dat sterk lijkt op dat van een dipool, omdat de backwave precies in tegenfase is met het naar voren afgestraalde geluid. Een dipool is een systeem dat bestaat uit twee polen in tegenfase op een zeker afstand van elkaar. De afstand tussen de polen wordt hier gevormd door de breedte en dikte van de open baffle. Een zuivere dipool zou tot een erg vreemde respons leiden. In het ontwerp van de open baffle luidspreker moet hiermee rekening worden gehouden. Sommige eigenschappen van een dipool worden gebruikt, andere eigenschappen worden onderdrukt.

In dit artikel worden de principes op hoofdlijnen uitgelegd. Vanuit de theoretische werking wordt aangegeven hoe zaken zich vertalen in de praktijk. Deze informatie beoogt de belangstellende lezer op weg te helpen bij zijn eerste open-baffle ontwerp. Er is veel meer achtergrond informatie te geven dan wat een enkel artikel kan bevatten. Formulewerk is bewust vermeden, daar waar dit van toepassing zou worden is verwezen naar programmatuur die via het internet verkrijgbaar is.

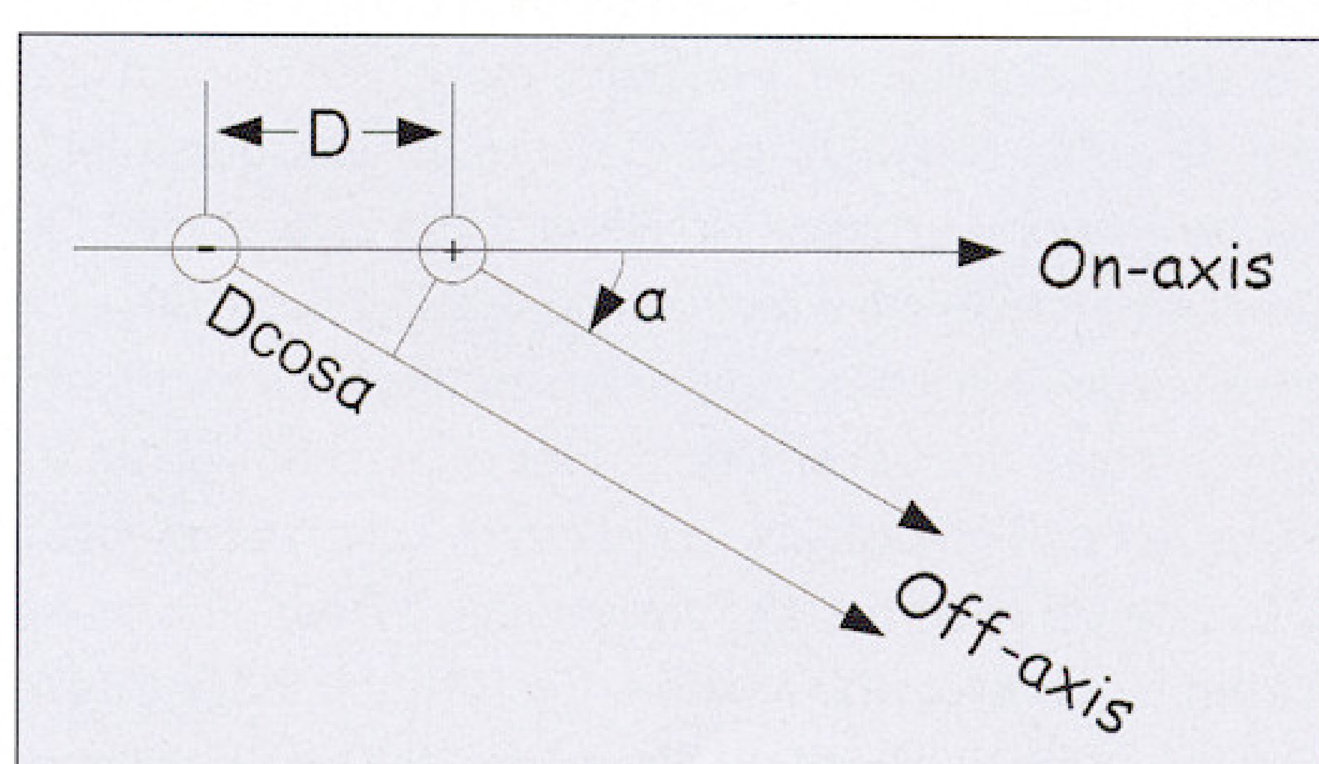
Theoretische achtergrond

In figuur 1 wordt getoond hoe het afstraalgedrag van een zuivere dipool eruit ziet. In het midden van de figuur staan een wit bolletje en een zwart bolletje getekend. Het witte bolletje is de positieve pool, het zwarte bolletje de negatieve. In een open baffle is het witte bolletje de voorkant van de baffle, het zwarte bolletje de achterkant van de baffle. De afstand tussen de bolletjes wordt bepaald door de breedte en diepte van de baffle. De baffle staat in deze figuur op de lijn tussen 90 en 270 graden. Ten opzichte van een monopool, die zuiver rondstraalt, geeft een dipool 4,8 dB minder vermogen af bij gelijke geluidsdruk op de luisteras tussen 0 en 180 graden. De verhouding tussen direct en indirect geluid (dat onze oren bereikt via reflecties) is dus 4,8 dB groter in het voordeel van de dipool. Dit leidt tot meer transparantie in het lage middengebied en in het basbereik tot een kleiner aantal kamerresonanties.

Het dipool afstraalgedrag is als volgt in te zien. On-axis is de afstand tussen de positieve en negatieve pool het grootst, dit resulteert in een maximaal amplitude en faseverschil. Daarom is de geluidsdruk on-axis maximaal. Op 90 graden, precies opzij van de dipool, is er geen afstandsverschil en de geluidsdrukken van beide polen heffen elkaar op en er is volledige akoestische kortsluiting. In figuur 2 is de basis voor de wiskundige relatie aangegeven waarmee de geluidsdruk kan worden uitge-



Figuur 1: Dipool afstraalgedrag



Figuur 2: Eenvoudig dipoolmodel

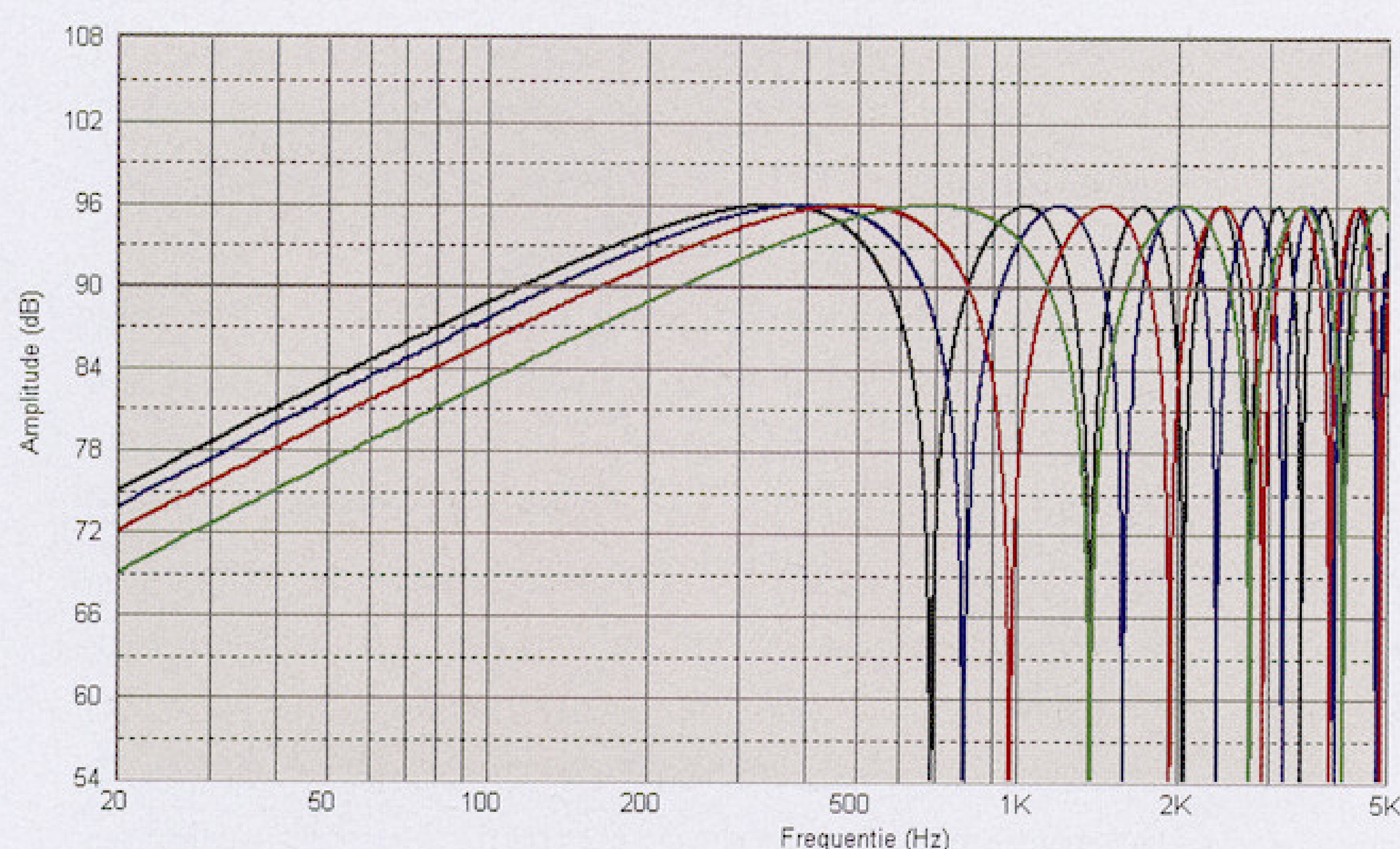
rekend ten opzichte van die op de luisteras. De geluidsdruk is rechtevenredig met de afstand D tussen de polen. Off-axis is dan de cosinus van de hoek ten opzichte van de as bepalend. De cosinus van 0 graden is 1, terwijl de cosinus van 90 graden gelijk is aan 0. De cosinus van 60 graden is 0,5. Op 60 graden off-axis is de geluidsdruk daarom 6 dB gedaald.

Deze formule geldt alleen voor lage frequenties, waarbij de golflengte veel groter is dan de afstand D tussen de polen. Voor hogere frequenties kunnen er maxima en minima ontstaan. Het eerste maximum ontstaat bij de frequentie waarbij de halve golflengte gelijk is aan D. Bij een halve golflengte weglengteverschil tussen de polen is het verschil in fase gelijk aan 180 graden. Aangezien de tegengestelde polen zelf al een faseverschil van 180 graden hebben, zijn de geluidsgolven weer precies in fase en tellen ideaal op tot een piek van +6 dB. Het eerste minimum ontstaat op de frequentie waar D gelijk is aan de hele golflengte. Daar is er geen faseverschil door weglengteverschil zodat de tegengestelde polen elkaar opheffen. Aangezien de afstand D tussen de twee polen off-axis kleiner is (volgens de cosinus van de off-axis hoek), zullen de maxima en minima op hogere frequenties liggen. In figuur 3 wordt de geluidsdruk over het hele frequentiebereik getoond voor hoeken van 0 graden (zwart), 30 graden (blauw), 45 graden (rood) en 60 graden (groen). De afstand tussen de dipolen is bij dit voorbeeld 0,5 meter. Aangenomen is een rendement van 90 dB, dit is een niveau van geluidsdruk dat in de praktijk vaak voorkomt bij dynamische drivers.

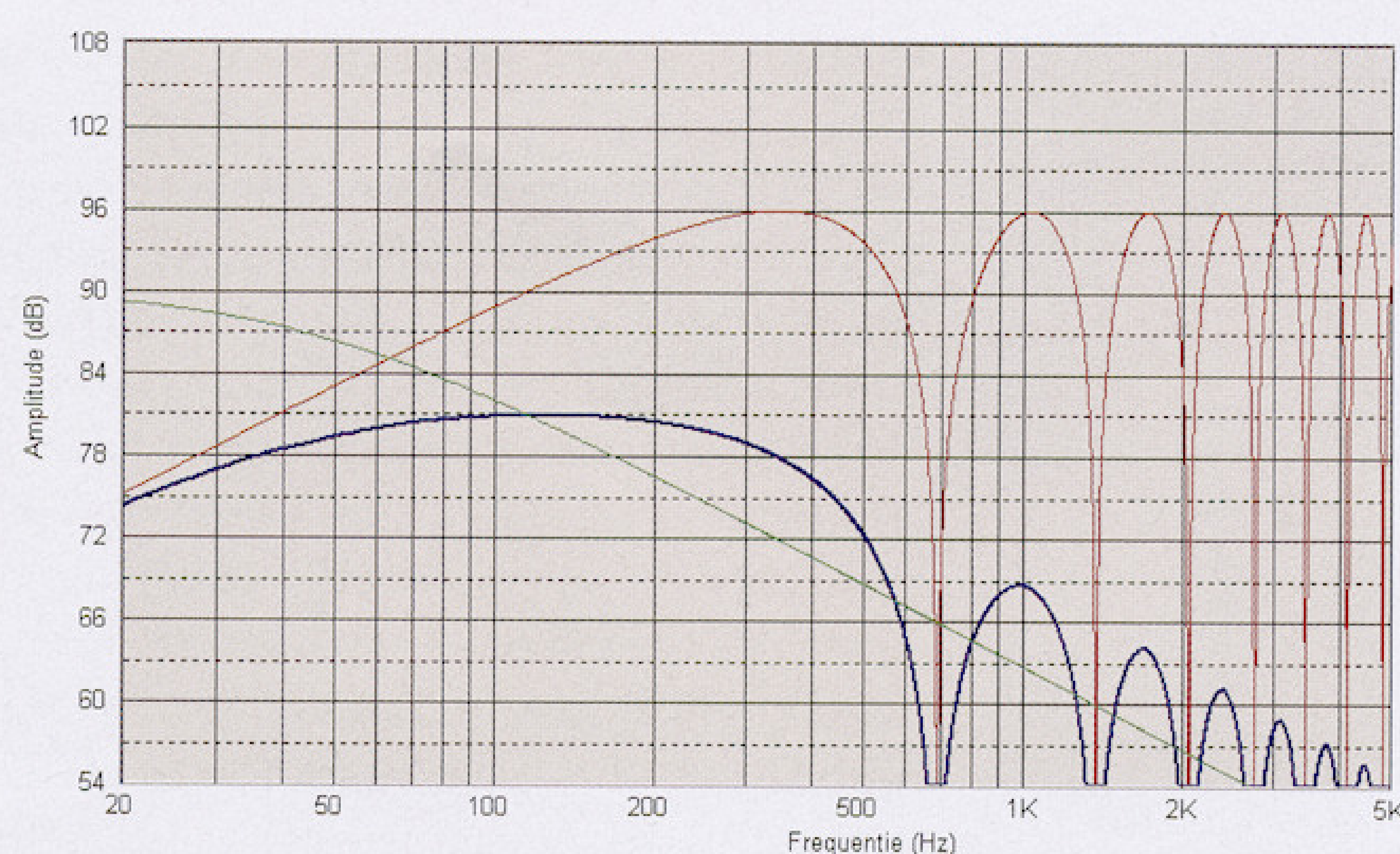
Het zal duidelijk zijn dat de frequentie respons van een zuivere dipool niet zomaar bruikbaar is voor een hoogwaardige geluidsweergave. Achtereenvolgens zal nu voor de lage, midden en hoge frequenties worden aangegeven wat er moet gebeuren om de dipooleffecten glad te strijken tot een voorbeeldige respons.

Correctie van het laag

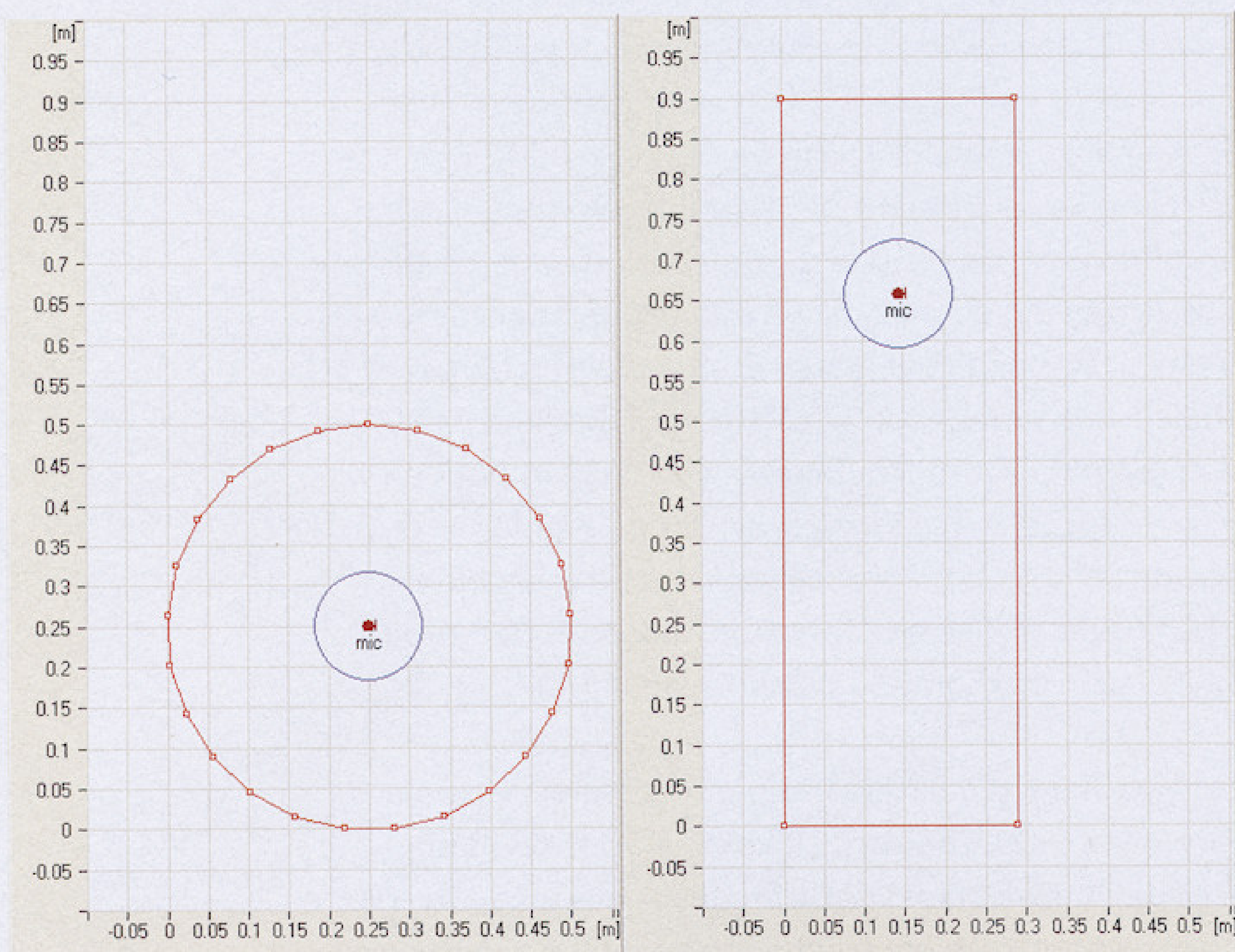
Voor de lage frequenties is er een vermindering van 6 dB/oct aan geluidsdruk, hoe lager de frequentie wordt. Dit kan relatief eenvoudig worden gecompenseerd met een eerste orde laagdoorlaatfilter. Bij de dipool zoals in het voorbeeld gekozen (figuur 4, rode lijn) leidt een eerste orde filter op 43 Hz (groene lijn) tot een bruikbare respons voor het laag van 35-350 Hz (blauwe lijn). Merk op dat het systeemrendement nu gelijk is aan 81 dB. Om dit weer op 90 dB te krijgen moeten twee drivers met een rendement van 93 dB worden gebruikt.
Dit leidt tot een aantal overwegingen voor het selecteren van de woofer voor een meerweg open baffle systeem. De woofer moet een groot oppervlak hebben en een grote uitslag kunnen maken. De resonantiefrequentie fs moet op of beneden de laagst weer te geven frequentie liggen. Het frame van de woofer moet goed open zijn, dit om te voorkomen dat bij grote geluidsdruk bijgeluiden ontstaan als gevolg van de luchtstroom die langs het frame gaat. De respons moet glad zijn en geen resonantieverschijnselen vertonen tot minimaal een octaaf boven de frequentie waar de middentoner het gaat overnemen. Vooral bij passieve filtering is het handig indien de kwaliteitsfactor Qts van de woofer gro-

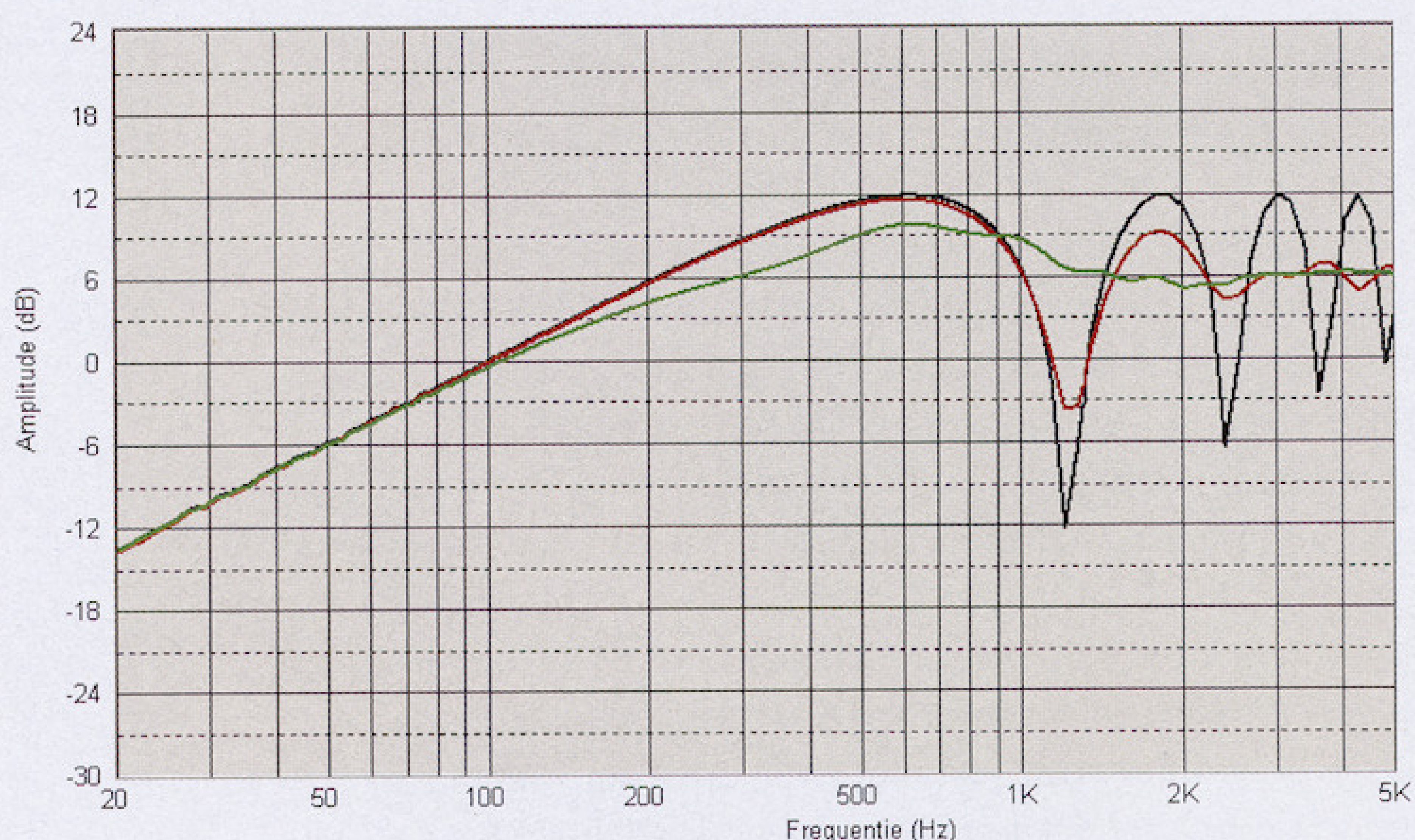


Figuur 3: Frequentie respons van een zuivere dipool onder verschillende hoeken



Figuur 4: 6 dB/oct correctie van het dipoolgedrag in het laag





Figuur 5: Een 17cm middentoner op een cirkelvormige baffle (diameter 50 cm) en een rechthoekige baffle (29x90 cm)

Figuur 6: Beïnvloeding van de respons door bundeling van de driver en de vorm van de baffle

ter of gelijk is aan 0,5. Indien dit niet het geval is, kan er op de resonantiefrequentie te weinig geluidsdruk worden gemaakt zonder actieve versterking. Omdat bij een dipool de geluidsdruk met 6 dB/oct afneemt naarmate de frequentie lager wordt, is er behoorlijk wat correctie nodig met behulp van een laagdoorlaatfilter. Om de benodigde correctie niet te groot te laten worden is het aan te bevelen de woofer over een gebied van niet veel meer dan drie octaven te laten werken. Dus bij een laagste frequentie van 30 Hz, zal het overnamepunt naar de middentoner liefst niet hoger dan 300 Hz moeten zijn. Dit kan slechts hoger worden genomen indien er een woofer met zeer groot oppervlak en een zeer hoog rendement op een dunne baffle wordt gebruikt. Deze woofer moet dan nog steeds mooi vlak zijn tot een octaaf boven het overnamepunt. Het moge duidelijk zijn dat in dergelijke gevallen de keuzemogelijkheden voor een woofer klein zullen zijn. Voor een bereik van drie octaven zijn er keuzemogelijkheden te over. Voor een diepreikende bas zijn echter toch wel per kanaal minimaal twee lange slag woofers van 25 cm nodig (of 1 lange slag woofer van 38 cm) om in een passief gefilterde opzet een redelijk rendement te halen van zo'n 87 dB.

Correctie van het middengebied

De frequentierespons van een zuivere dipool ziet er voor het middengebied niet erg fraai uit. In de praktijk kan er gelukkig voor worden gezorgd dat de pieken en dalen veel minder groot in amplitude worden. Dit heeft te maken met de bundeling van de middentoner en met de vorm van de baffle. Deze zaken zijn getoond in figuur 5, een situatie waarbij een middentoner van 17 cm op een cirkelvormige baffle is geplaatst en een situatie met deze middentoner op een rechthoekige baffle.

Om te laten zien wat de effecten zijn is eerst een zuivere dipool gesimuleerd. Dit kan worden gedaan door een driver met een zeer kleine diameter te plaatsen op een cirkelvormige baffle. Deze configuratie gedraagt zich precies als een dipool waarbij de afstand tussen de positieve en negatieve pool gelijk is aan de halve diameter van de cirkel. In het simulatievoorbeeld is de diameter van de cirkel gelijk aan een halve meter, de afstand tussen de polen is dan 25 cm. Het simulatieresultaat leidt tot de getoonde respons in figuur 6 (de zwarte lijn). De simulatie is uitgevoerd met behulp van The Edge. Dit programma geeft vrij betrouwbare resultaten die met praktijkmetingen zijn geverifieerd. Het is beschikbaar via de website van Tolvan Data (http://www.tolvan.com/edge). De rode lijn geeft de respons van een 17 cm woofer op dezelfde cirkelvormige baffle. Bij 1000 Hz begint deze merkbaar te bundelen en boven de 2000 Hz is de bundeling zo sterk dat er geen diepe dalen meer ontstaan. De backwave kan niet meer volledig om de baffle heenkomen. De tweede piek net beneden 2000 Hz is nog maar 3 dB groot, dit betekent dat de backwave ongeveer 7,5 dB verzwakt is als hij om de baffle heen is gebogen. Dit effect zal ook optreden bij de grote woofer, die al bij veel lagere frequenties gaat bundelen. De diepe dalen zoals eerder in figuur 3 getoond zullen dus in de praktijk niet zo snel voorkomen.

De groene lijn geeft weer wat er gebeurt indien een rechthoekige baffle wordt gebruikt. Bij een bepaalde hoogte (90 cm) is een dusdanige breedte genomen (29 cm) dat de effectieve afstand tussen het voorwaarste geluid en de backwave nog steeds 25 cm is. Dit is te zien aan het gelijkgebleven niveau als gevolg van akoestische kortsluiting bij de laagste frequenties. Het is goed te zien dat de respons nu zeer bruikbaar is geworden. De rechthoekige baffle zorgt ervoor dat er niet een specifieke dipoolafstand bestaat voor de geluidsgolven in het middengebied, zodat er veel minder sterke pieken en dalen optreden. Met slechts weinig correctie in het scheidingsfilter kan de middentoner probleemloos vanaf 300 Hz worden ingezet.

Een lagere scheidingsfrequentie dan 300 Hz is mogelijk, maar indien deze beneden 200 Hz komt moet er al flink worden gecorrigeerd voor de (gedeeltelijke) akoestische kortsluiting. Dit drukt het systeemrendement flink bij gebruik van een passief filter, een actief filter is beter in dit geval. Bovendien gaat veel van de middentoner worden gevraagd, hij moet een grote uitslag gaan maken om beneden 200 Hz voldoende geluidsdruk te maken. In sommige open-baffle dipoolsystemen worden midden-

toners zelfs al vanaf 100 Hz ingezet. Om dan voldoende dynamiek reserve te hebben moeten er minimaal twee 17 cm middentoners per kanaal worden ingezet. Hun maximale lineaire uitslag (lineaire Xmax) mag daarbij niet kleiner zijn dan 10 mm piek-piek (+/-5 mm). In zo'n geval is een d'Appolito systeem een uitkomst waarbij twee middentoners aan weerszijden van de tweeter worden geplaatst. Zolang echter de baffle niet smaller is dan ongeveer 20 cm en de middentoner vanaf 300 Hz wordt ingezet, heeft hij een vergelijkbaar of hoger rendement dan dezelfde middentoner in een traditionele box luidspreker.

Correctie van het hoog

Voor de hoge frequenties geldt eigenlijk hetzelfde als voor de frequenties in het middengebied. De vorm van de baffle en de plaats van de tweeter daarop bepaalt de grilligheid van het verloop. Rimpels van +/-2 dB zijn eigenlijk geen probleem en gelden vooral precies recht voor de baffle. De meeste mensen richten de luidspreker niet precies op de luisterplek, in plaats daarvan wordt hij licht naar buiten gedraaid. De respons zal in dat geval ook bij een open baffle systeem erg vlak kunnen worden met variaties van slechts +/-1 dB. Met behulp van een programma als The Edge is het relatief eenvoudig om een baffle te ontwerpen die in de praktijk goed zal voldoen.

Aan de tweeter worden geen speciale eisen gesteld, die niet ook voor een normale luidspreker gelden. Indien echter het doel is om dipoolgedrag voor alle frequenties van laag tot hoog te verkrijgen zijn er een aantal punten die extra aandacht verdienen. Voor dit doel moet een dipooltweeter worden samengesteld door twee tweeters met hun ruggen tegen elkaar op de baffle te monteren en in tegenfase parallel op elkaar aan te sluiten. Dan is het handig dat de tweeters niet te diep zijn waardoor de baffle erg dik zou worden. Ook is het prettig indien hun magneetveld niet te sterk is zodat ze elkaar afstoten en mogelijk beïnvloeden. Tweeters met neodynium magneten voldoen aan beide eisen. Omdat middentoners niet tot hoge frequenties symmetrisch afstralen (vanwege de constructie van het frame en de magneet die de luchtstroom in de weg zit) is het aan te bevelen om een maximale scheidingsfrequentie te kiezen niet veel hoger dan 2000 Hz. Hiermee kan een vloeiende overgang in dipool afstraalgedrag van middentoner naar tweeter worden bereikt. De tweeter moet dus geschikt zijn voor een relatief laag overnamepunt in het scheidingsfilter. Sommige magnetostaat tweeters zijn van zichzelf al dipoolstralers of kunnen dat worden door de achterkant van de behuizing te verwijderen. Dit soort tweeters zijn erg handig om toe te passen op een vlakke ondiepe baffle. Bovendien hoeven ze niet in een paar te worden toegepast hetgeen de kosten sterk drukt.

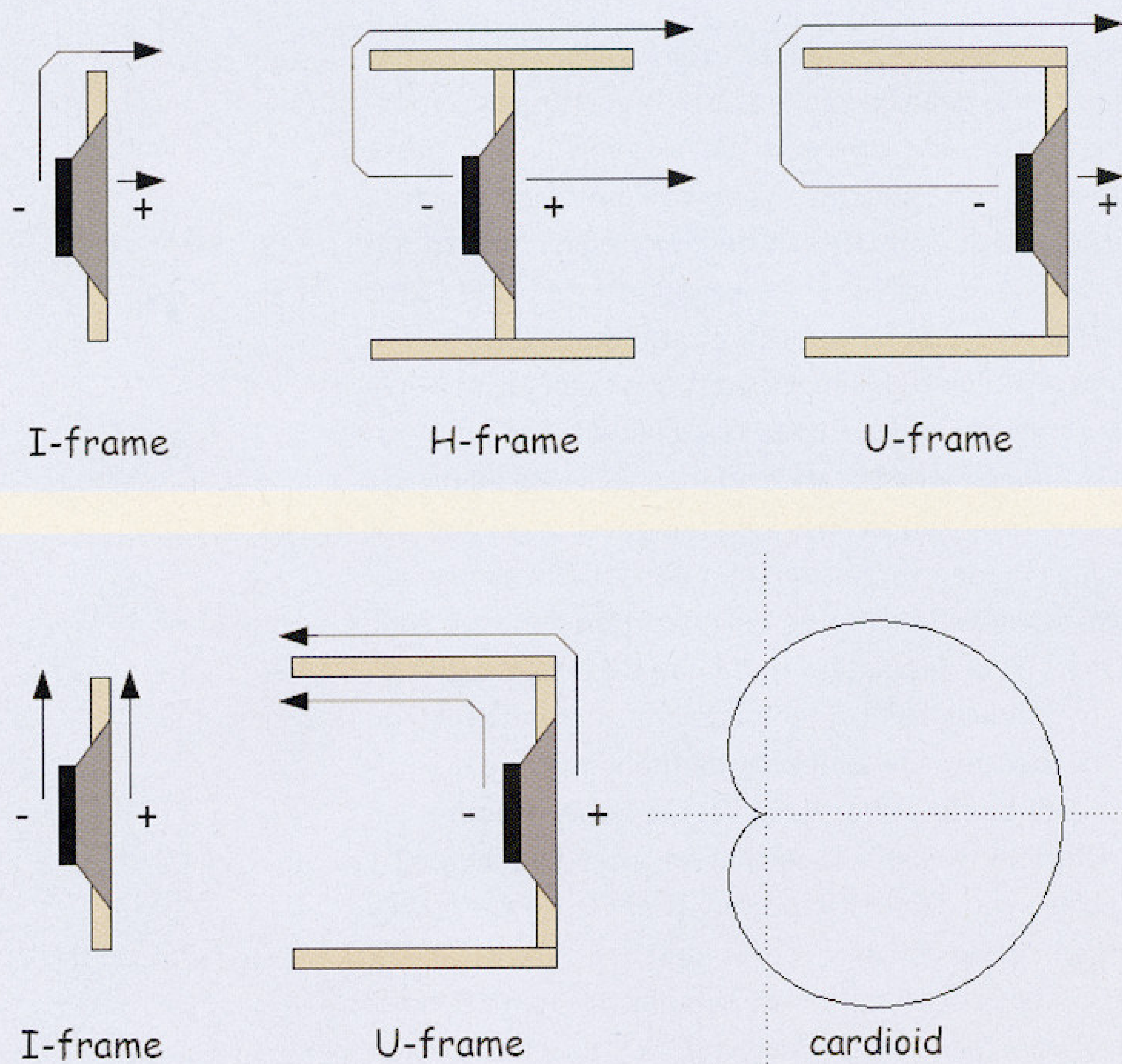
Maximale geluidsdruk en rendement

Er bestaan spreadsheets om zaken als rendement en maximaal te bereiken geluidsdruk te berekenen, zoals te vinden op de website van Siegfried Linkwitz (http://www.linkwitzlab.com/spl_max1.xls). Deze zijn erg nuttig om een gevoel te krijgen voor het oppervlak dat een driver moet hebben en hoever hij moet kunnen uitslaan om een bepaalde geluidsdruk te verkrijgen. Voorwaarde voor een correcte berekening is een juiste opgave van de effectieve dipoolafstand. Indien deze bepaald wordt op basis van de kortste afstand van het centrum van de driver tot de rand van de baffle (dit is in veel gevallen de halve breedte van de baffle), is deze afstand eigenlijk te klein gekozen voor een juiste berekening met de spreadsheet van Linkwitz. Er zou dan onjuist kunnen worden geconcludeerd dat de dipoolbas te weinig druk kan maken. Om het goed te doen moet de baffle worden vergeleken met een cirkelvormige baffle. Als voorbeeld kan nog eens worden gekeken naar figuren 5 en 6. Simulatie van de cirkelvormige baffle en de rechthoekige baffle laten hetzelfde gedrag zien bij de lage frequenties. Dit betekent dat de effectieve dipoolafstand bij beide baffles gelijk is. De halve breedte van de rechthoekige baffle is slechts 14,5 cm. Effectief blijkt deze baffle een dipoolafstand van 25 cm te hebben, zoals is te zien aan de afmeting van de cirkelvormige baffle. Dit komt omdat de geluidsgolven zich niet alleen maar horizontaal voortplanten. De mate van akoestische kortsluiting wordt dus ook door de hoogte en vorm van de baffle bepaald. Zodra eenmaal de juiste effectieve afstand tot de rand van de baffle is bepaald, moet hierbij ook nog de baffle diepte worden opgeteld. Indien de voorbeeld baffle van 29x100 cm een diepte heeft van 4 cm is de juiste dipoolafstand 25+4=29 cm. Dit is tweemaal zoveel als de halve bafflebreedte (14,5 cm) en resulteert in een berekende maximale geluidsdruk die 6 dB hoger in niveau ligt! N.B. deze wijze van berekenen geldt alleen indien de diepte van de baffle klein is in verhouding tot de breedte. Indien de diepte groter wordt gaat de baffle zich gedragen als een U-frame, zoals verderop in dit artikel wordt besproken.

Het is dus erg handig om een betrouwbaar simulatieprogramma te gebruiken waarin de vorm van de baffle kan worden ingevoerd. Dat heeft meteen het grote voordeel dat de meest gunstige plaatsing van de middentoner van te voren kan worden bepaald voor een zo vlak mogelijk verloop. Naast het programma The Edge kan het programma A,B,C Dipole zeer worden aanbevolen, verkrijgbaar voor ongeveer €10,- inclusief verzendkosten via de website van John Kreskovsky (http://www.musicanddesign.com). De geleverde CD rom bevat een uitstekende handleiding met daarnaast een schat aan informatie over het ontwerpen van openbaffle systemen. Deze handleiding gaat veel dieper op de materie in dan wat in dit artikel kan worden besproken. Het programma A,B,C Dipole rekent netjes de te verwachten respons en de maximaal te behalen geluidsdruk uit, op basis van de afmetingen van de baffle en de parameters van de gebruikte driver.
Tenslotte wordt opgemerkt dat indien de woofer vlakbij de vloer worden geplaatst er nog 6 dB extra geluidsdruk kan worden bereikt bij de laagste frequenties.

Verschillende baffle constructies

Tot nu toe zijn alleen nog vlakke baffles beschouwd in de uitleg over de werking en het ontwerp van open baf-



Figuur 7:
I-frame (vlakke baffle), H-frame en U-frame

Figuur 8:
I-frame, U-frame en cardioide afstraalgedrag

fle systemen. Er zijn vele constructies denkbaar, hieronder worden drie basisvormen geïllustreerd in figuur 7. De figuren zijn dwarsdoorsneden, de zijpanelen moeten erbij worden gedacht. Het U-frame zoals getoond is dus eigenlijk een klassieke luidsprekerkast waarvan de achterkant is opengelaten. In de praktijk kan een U-frame ook aan de bovenkant worden opengelaten bijvoorbeeld in het geval waarin de zijkanten niet rechthoekig maar driehoekig zijn genomen zodat er geen bovenkant meer te maken is. Er is dan sprake van een hybride vorm die tussen een I-frame en een U-frame in zit.

De reden om van een I-frame af te wijken kan zijn om de dipoolafstand te vergroten. Feitelijk gaat een open baffle al richting U-frame op het moment dat er enige diepte aan de baffle wordt gegeven. Zoals hiervoor beschreven dient deze diepte meegenomen te worden bij het bepalen van de dipoolafstand. Echter, hoe meer diepte er aan de baffle gegeven wordt en hoe meer de vorm richting U-frame gaat, hoe minder het afstraalgedrag op dat van een dipool gaat lijken. Het punt waar de positieve en negatieve pool elkaar gaan opheffen wordt naar achteren gebogen, naar de randen van de open einden van het U-frame. Het is de vraag of een dergelijke constructie verstandig is om toe te passen voor de midden en hoge frequenties. Daar is namelijk het afstraalgedrag erg afhankelijk van de vorm van de baffle. Zodra er voor de midden en hoge tonen een U-frame wordt genomen, is de symmetrie voor en achter verdwenen en wordt het afstraalgedrag erg onvoorspelbaar. Een optimale weergave zal dan vergezeld moeten gaan van veel proefmodellen in combinatie met gekozen drivers. Bovendien ontstaan er bij H-frames en U-frames resonanties die overeenkomen met de lengte van het U-frame en de halve lengte van het H-frame. De laagste resonantie ligt dan op de frequentie waar de kwart golflengte gelijk is aan deze lengte. Bij een U-frame met een lengte van 34 cm zal deze resonantie bij een geluidsnelheid van 340 m/s op ongeveer 250 Hz liggen (340 m/s : 0,34 m : 4 = 250 Hz) en bij een H-frame van dezelfde lengte ligt hij op 500 Hz. In de praktijk ligt deze resonantie trouwens altijd lager vanwege turbulenties aan de randen van het frame.

Een H-frame geeft een redelijk voorspelbaar gedrag. Het is een symmetrische configuratie die zich als een zuivere dipool gedraagt voor de lage frequenties waar diffractie langs de randen en bundeling van de driver nog geen rol spelen. De kwart golflengte resonantie kan worden onderdrukt door een laag kantelpunt te nemen in het scheidingsfilter eventueel in combinatie met actieve equalizing. Gebruik van een H-frame is dus vooral nuttig voor de lage frequenties. De dipoolafstand wordt vergroot zodat er meer geluidsdruk kan worden gemaakt. In figuur 7 is met de pijlen aangegeven hoeveel groter deze afstand wordt ten opzichte van een I-frame. Bij gebruik van een U-frame voor de lage frequenties kan on-axis nog meer geluidsdruk worden gemaakt, de pijlen geven aan dat het weglengteverschil tussen de positieve en negatieve pool ongeveer tweemaal zo groot is als bij een H-frame. In figuur 8 wordt met pijlen aangegeven hoe het afstraalgedrag van een U-frame ontstaat. Bij een I-frame ontstaat volledige akoestische kortsluiting precies opzij van de baffle, waardoor het 8-vormige afstraalpatroon ontstaat. Bij een U-frame ontmoeten de pijlen elkaar aan de achterkant van het U-frame. De dipool wordt als het ware naar achteren gebogen naar een cardioide afstraalpatroon. Dit is heel gunstig voor de kwaliteit van het laag. Onderzoek heeft uitgewezen dat basluidsprekers met een dergelijk afstraalpatroon veel minder afhankelijk zijn van de plaatsing in de luisterruimte. Dat wat normaal alleen met zeer grote hoornluidsprekers mogelijk is, namelijk richtwerking in het laag, wordt nu bereikt in een relatief zeer compacte behuizing.

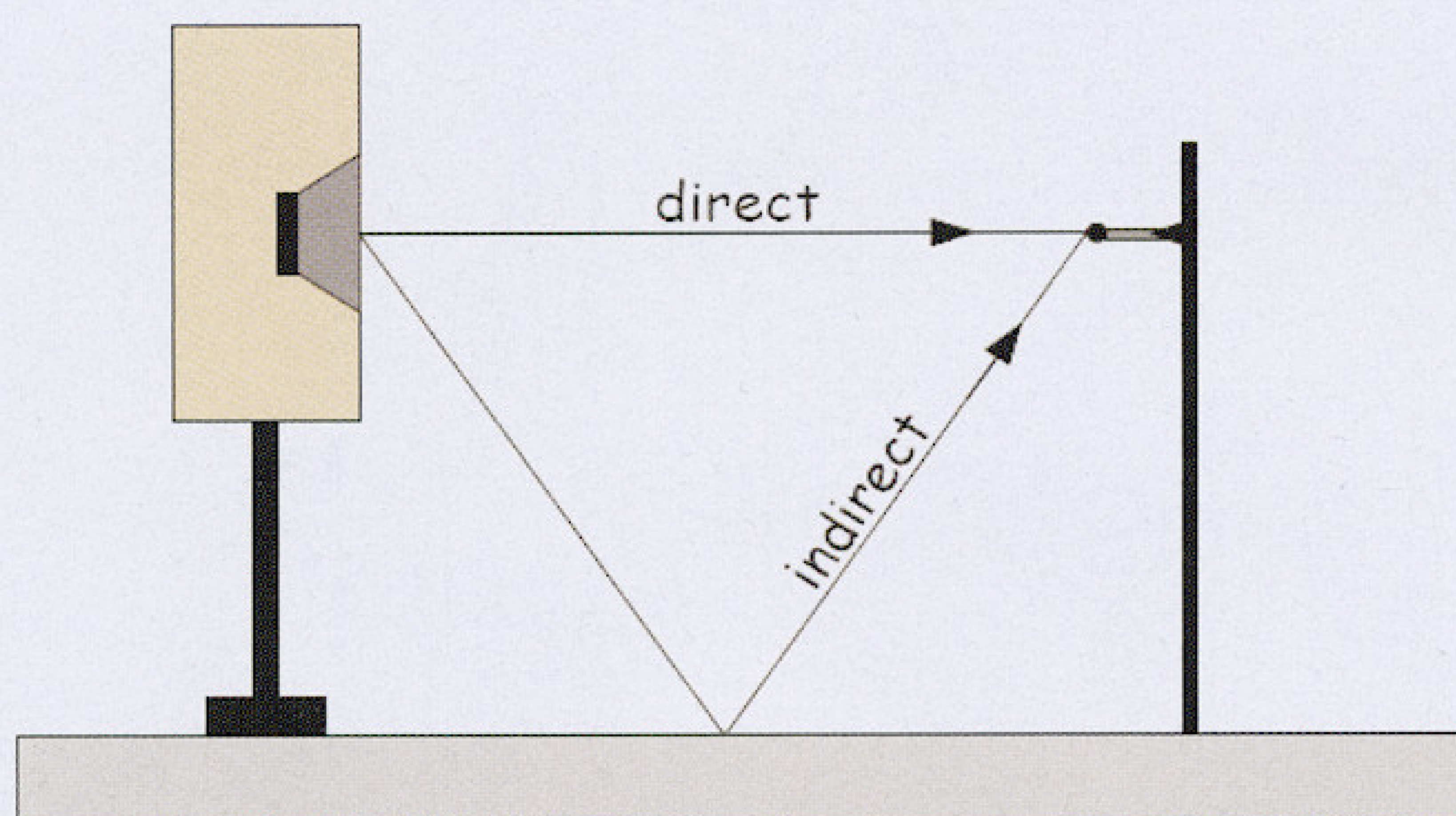
Het zou mooi zijn indien deze theorie zich direct vertaalt naar de praktijk. Dat gebeurt ook wel, maar alleen als in de theorie ook de resonantie van de backwave wordt meegenomen. Zodra die wordt meegenomen wordt duidelijk dat het afstraalpatroon niet meer cardioide zal zijn. Door de verhoogde amplitude van de backwave op het resonantiepunt kan er naar achteren toe niet het nulpunt ontstaan dat bij een cardioid afstraalpatroon hoort. Het resultaat is rondstralen net als bij een gewone luidspreker. Zowel het rondstralen als de resonantie, die kleuring veroorzaakt, zijn ongewenst. Echter zowel het rondstralen als de resonantie kunnen met dempingmateriaal in het U-frame worden onderdrukt. Daarom moet via metingen experimenteel worden vastgesteld bij welke hoeveelheid demping de geluidsdruk aan de achterkant van het U-frame minimaal is. Dit is overigens alleen goed te meten in een professionele anechoïsche ruimte (dode kamer), zonder een dergelijke ruimte is men aangewezen op dichtbij metingen en simulaties. Na opstellen van het U-frame in de luisterruimte kan de hoeveelheid demping nog op het gehoor verder worden aangepast. Bij een goed afgestemd U-frame wordt er een bijzonder goede kwaliteit bereikt in de laagweergave.

Opmeten van de respons

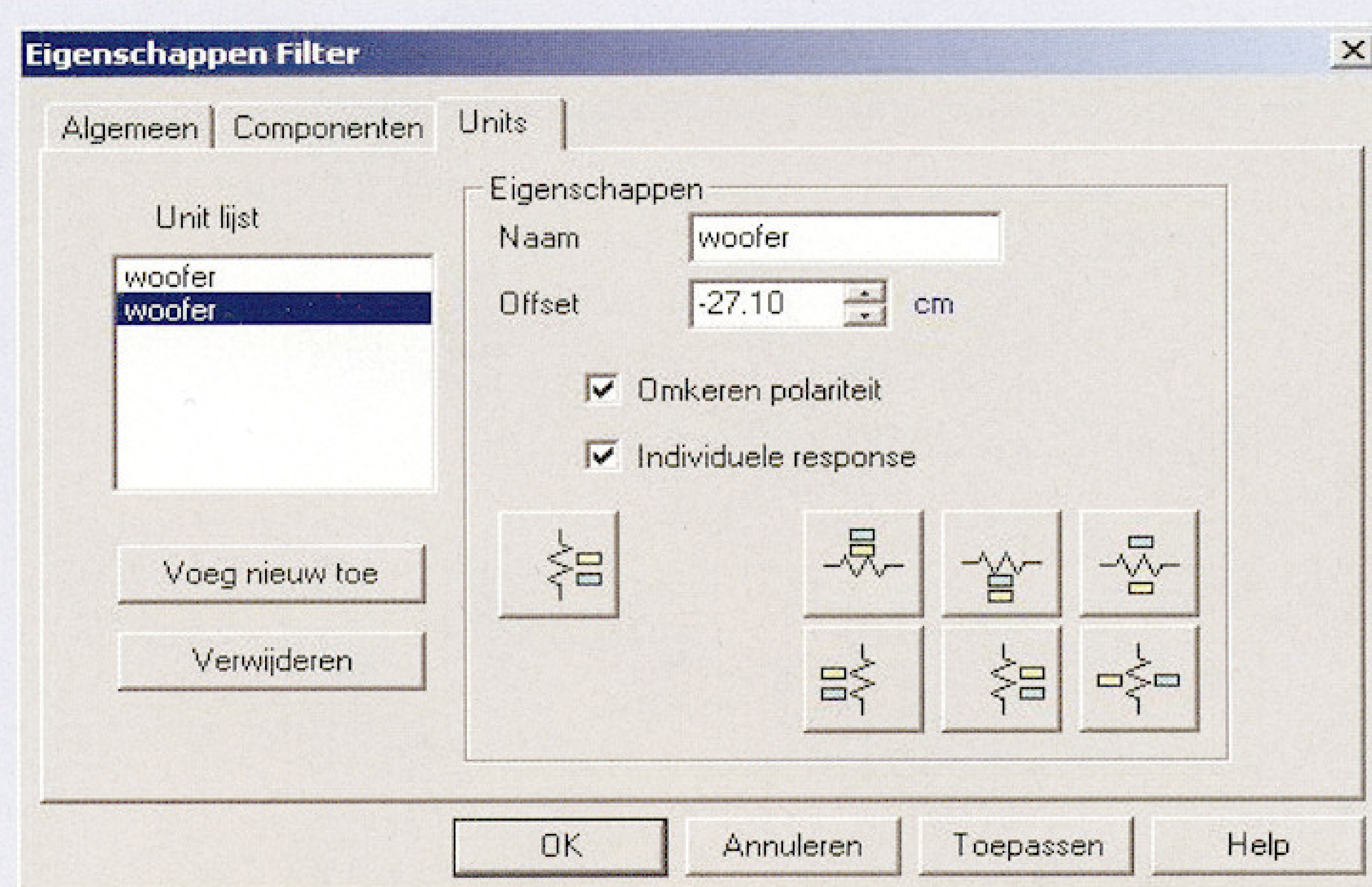
Tot besluit van dit artikel wordt aangegeven hoe de respons van de drivers op de open baffle kan worden opgemeten in de huiskamer. Voor hobbyisten die in het bezit zijn van een MLSSA meetsysteem (op basis van een meetmicrofoon, geluidskaart en software) is het mogelijk om betrouwbaar de respons van een open baffle systeem vast te stellen. Met een MLSSA meetsysteem is het mogelijk om de amplitude en fase van een luidspreker vast te stellen door een meting op 1 of enkele meters afstand uit te voeren. Een MLSSA meetsysteem stoot een korte ruisburst uit die naar een versterker en de te meten luidspreker wordt geleid. De door de luidspreker weergegeven ruisburst wordt door de meetmicrofoon opgevangen en verwerkt door het meetsysteem. Het systeem rekent op basis van de ontvangen ruisburst uit wat de amplitude en faserespons van de luidspreker is. Indien de luidspreker voldoende vrij wordt opgesteld, kan ervoor worden gezorgd dat de eerste reflectie van de door de luidspreker uitgestoten ruisburst meer dan 3 milliseconden later bij de meetmicrofoon aankomt. Dit wordt bereikt indien het weglengteverschil tussen het directe pad en indirecte pad van de eerste reflectie iets groter is dan 1 meter (zie figuur 9). Het meetsysteem heeft dan gedurende ruim 3 msec de zuivere respons van de luidspreker waargenomen, zonder invloeden van de luisterruimte. Men noemt dit een 'semi-dode' kamer meting.

De beperking van deze meting is dat de tijdsduur van ruim 3 milliseconden te kort is om de respons beneden 300 Hz vast te stellen. In drie milliseconden zit daarvoor te weinig laagfrequente informatie. Wat echter wel kan worden gedaan is een meting vlak voor de luidspreker op ongeveer 2 cm afstand. Een meting die zo dichtbij de luidspreker wordt uitgevoerd ontvangt het directe signaal veel sterker dan signalen die via reflecties bij de microfoon aankomen. Daardoor kan met de microfoon vlakbij de luidspreker ook het gebied beneden 300 Hz worden opgemeten. Het probleem is dan wel dat het dipoolgedrag niet wordt meegenomen en ook dat het absolute niveau van de geluidsdruk onbekend is. Dit probleem wordt ondervangen door het dipoolgedrag te simuleren en door de meting te combineren met de semi-dode kamer meting. Stap voor stap zal de te volgen meetprocedure nu worden uitgelegd.

Eerst wordt de semi-dode kamer meting uitgevoerd, in dit voorbeeld op een afstand van 1 meter, met een referentiesignaal van 2.83 Volt om meteen het rendement van de luidspreker te meten. Als voorbeeld wordt de meting van een 30 cm woofer genomen die op een zo klein mogelijke dikke stevige baffle is geplaatst. De dipoolafstand bij een dipool zoals in dit voorbeeld is ongeveer gelijk aan de halve breedte van de baffle + de diepte van de baffle. Na de semi-dode kamer meting wordt de meting dichtbij gedaan op 2 cm voor de woofer. De resultaten kunnen dan worden ingevoerd in bijvoorbeeld SpeakerWorkshop, een simulatieprogramma dat vrij te verkrijgen is op het internet (http://www.audua.com/). De bedoeling van de simulatie is, om op basis van de dichtbijmeting het gedrag op 1 meter te voorspellen. De simulatie bestaat eruit dat twee woofers worden ingevoerd in het programma. De woofers krijgen allebei de gemeten respons van de dichtbijmeting. Eén van de twee woofers wordt uit fase gezet, daarmee wordt de backwave gesimuleerd. Voor de woofer die uit fase staat wordt ook de dipoolafstand van 27,1 cm ingevoerd (de baffle is 35 cm breed en 9,6 cm diep).



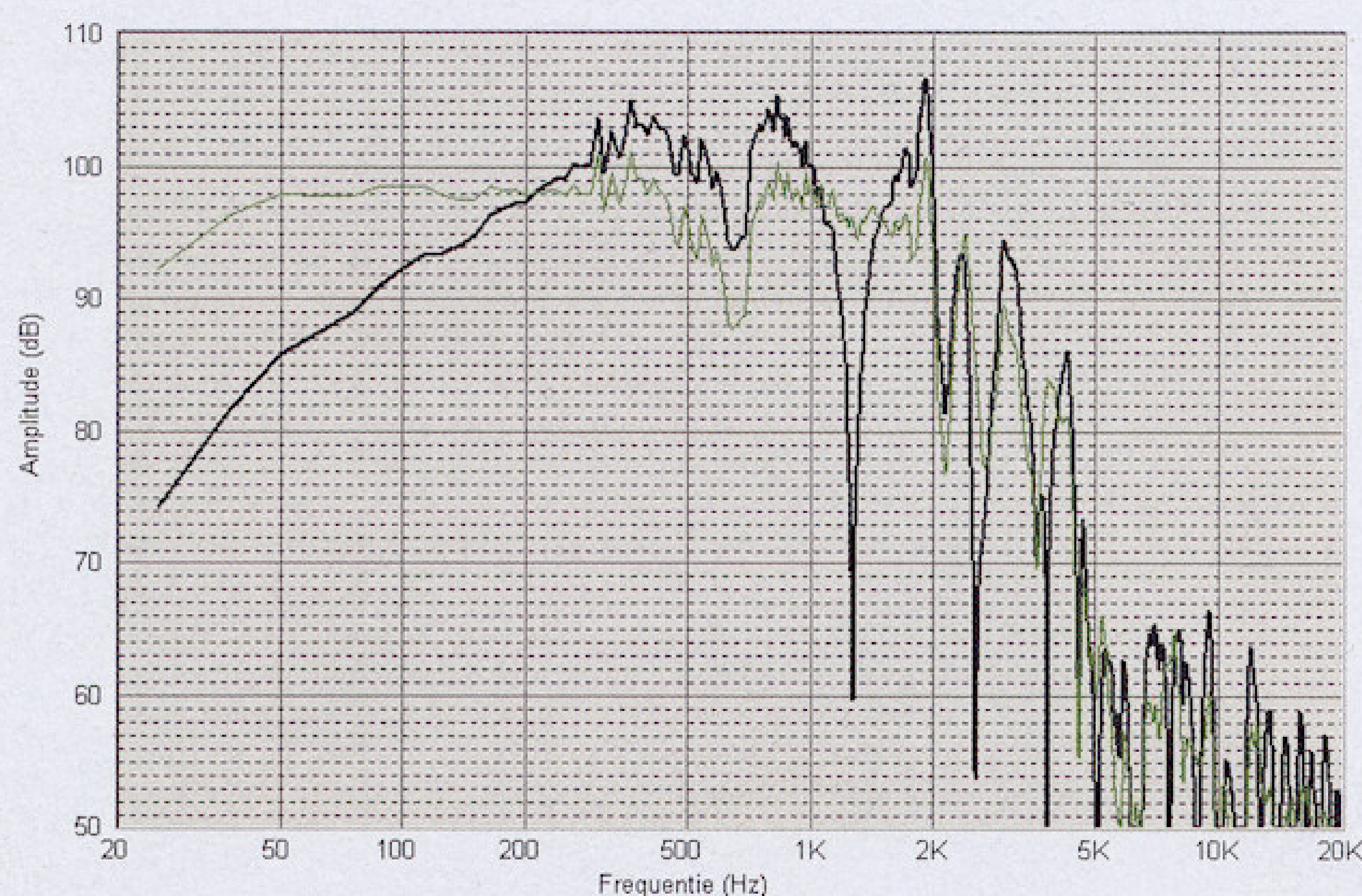
Figuur 9: meetopstelling van een semi-dode kamer meting met behulpt van MLSSA

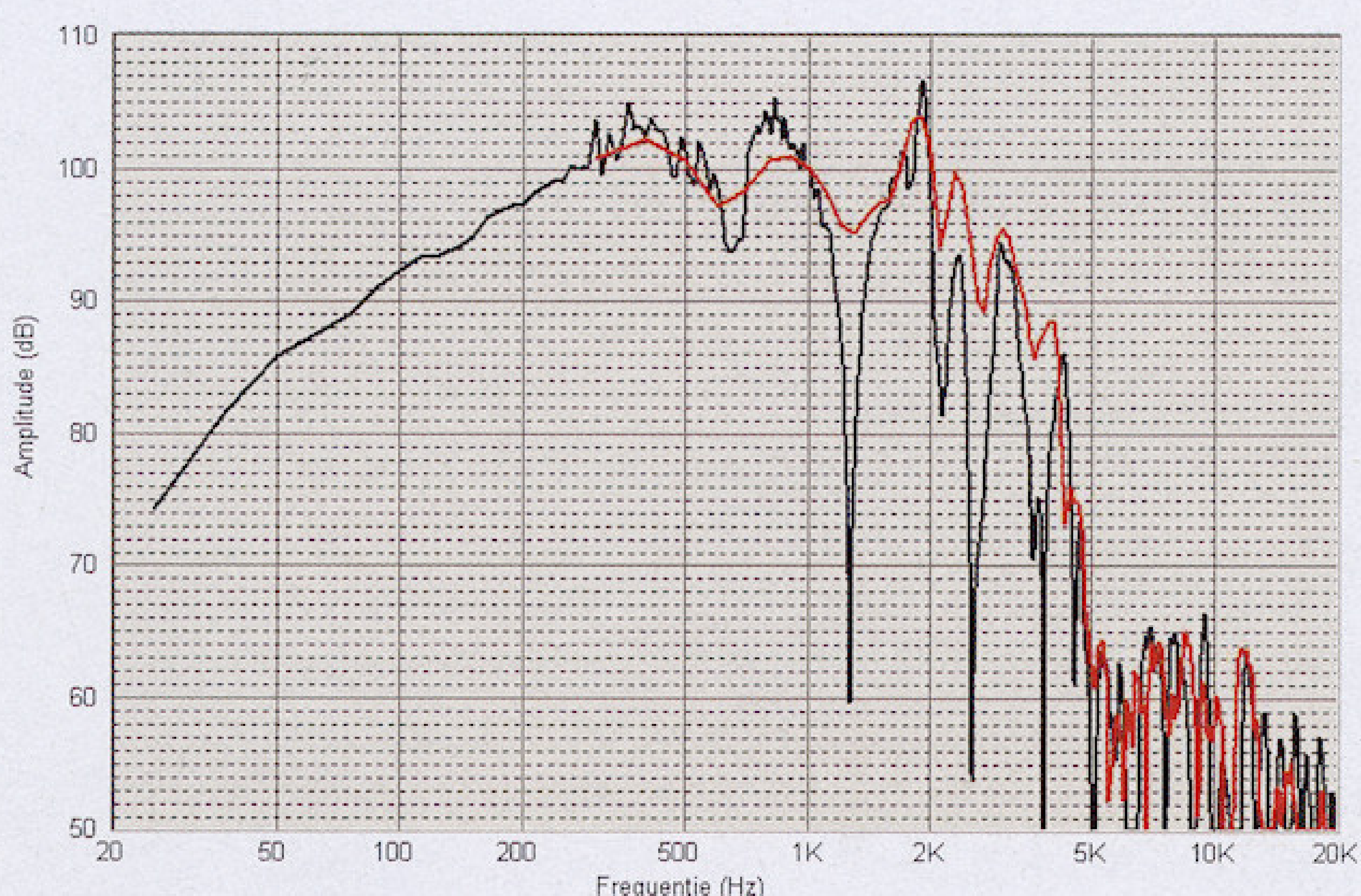


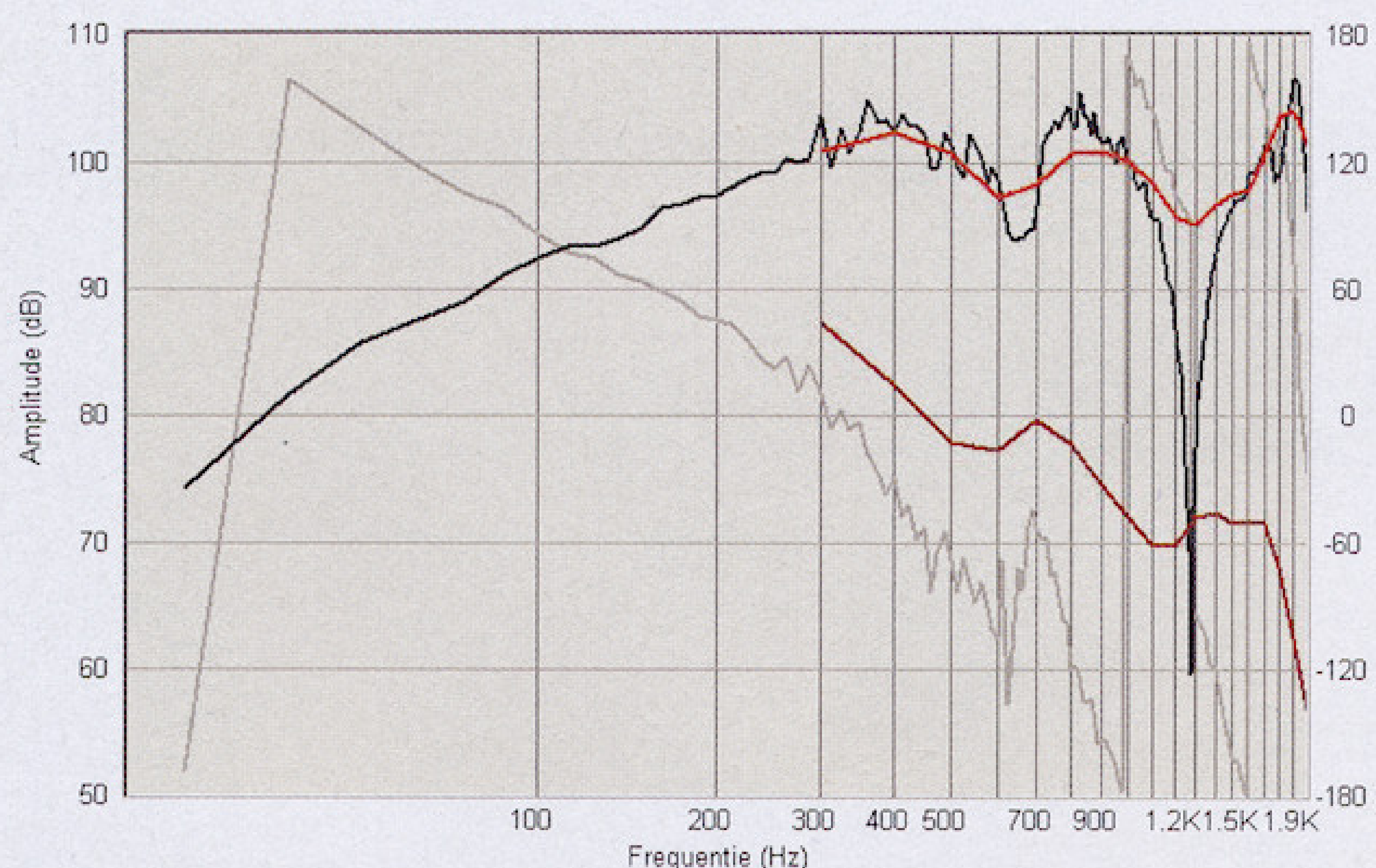
Figuur 10: Simulatie van de dipool in Speaker-Workshop

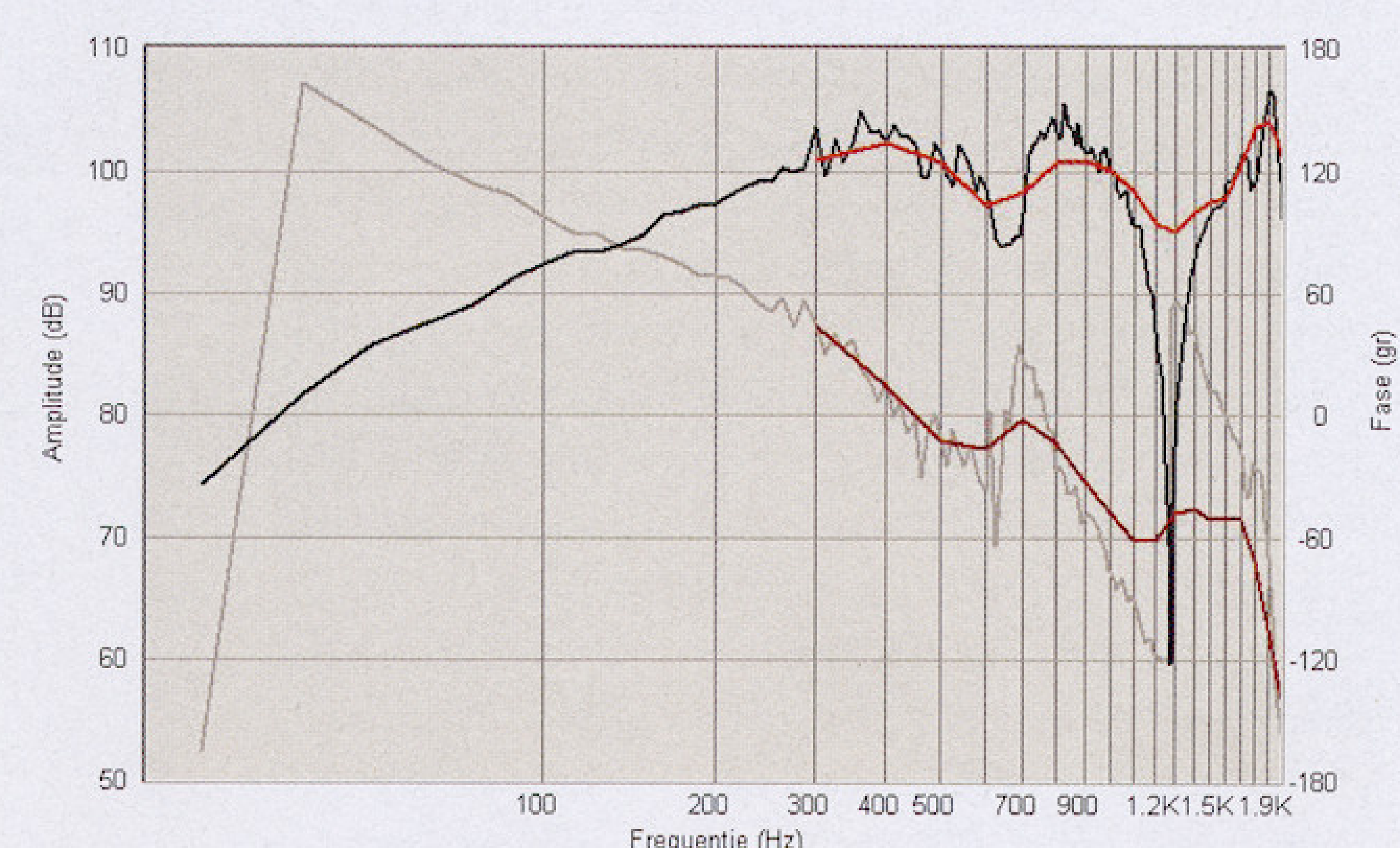
Het resultaat van de simulatie is weergegeven in figuur 11 met de zwarte lijn. De dunne groene lijn is gegeven ter referentie, dit was het resultaat van de dichtbijmeting van de woofer (Peerless SLS-315). Bij ongeveer 630 Hz is de combinatie van weglengteverschil en golflengte dusdanig, dat de dipolen elkaar maximaal versterken. Daar is een verschil te zien van 6 dB tussen de zwarte en de groene lijn.

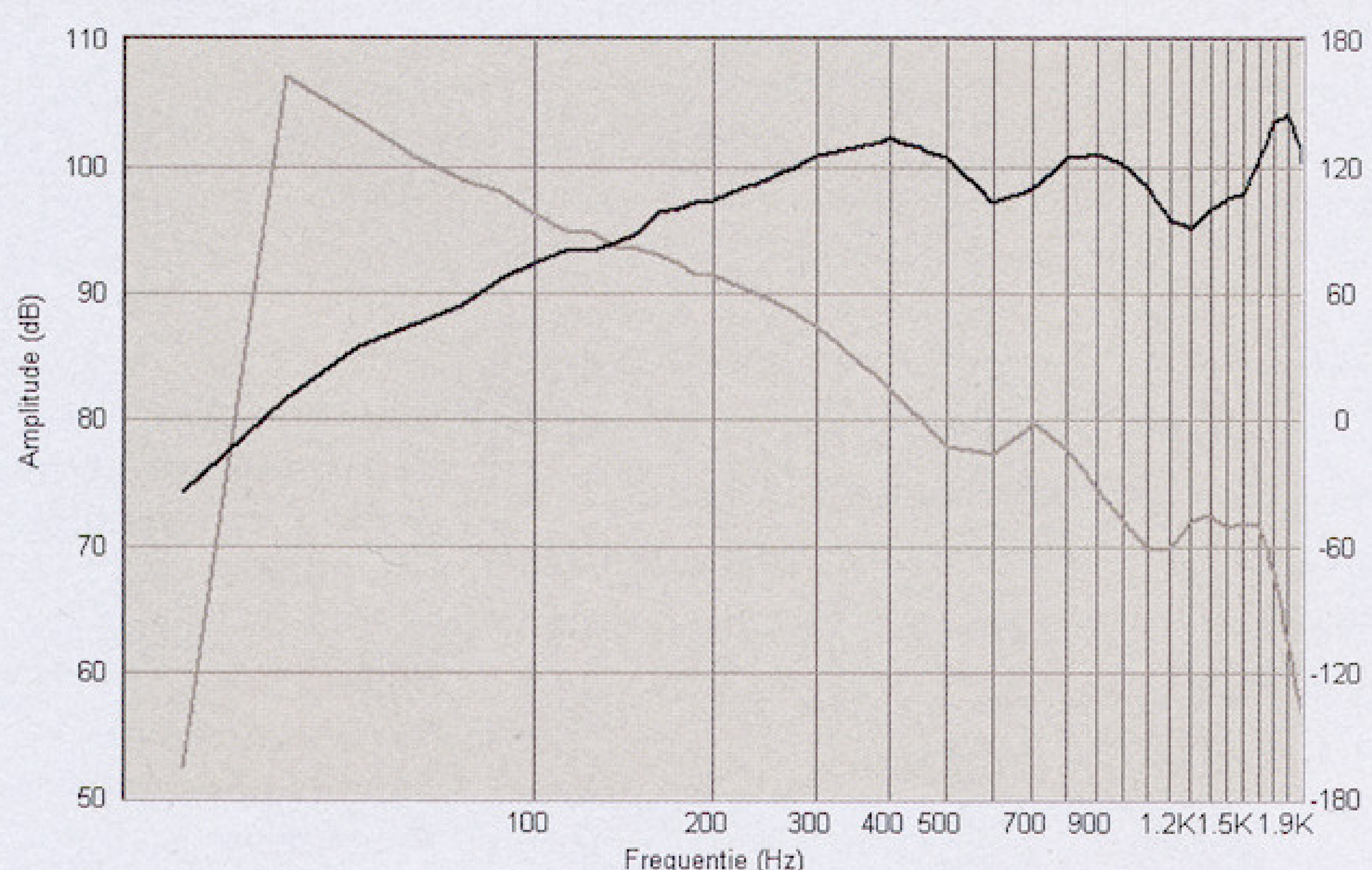
In figuur 12 is de semi-dode kamer meting toegevoegd. Dit is de rode lijn die start bij 300 Hz. In figuur 11 was alvast het niveau van de gesimuleerde zwarte lijn op de juiste hoogte gebracht om precies aan te sluiten op de rode lijn. Hiermee is ondervangen dat het juiste rendement niet kan worden opgemeten met de meting dichtbij, de meting op 1 meter dient daarvoor als referentie. Het is goed te zien dat de pieken en dalen van de dipool exact daar liggen waar de simulatie het had voorspeld. Het verschil tussen simulatie en meting ontstaat doordat de woofers geen ideale puntbronnen zijn. Ze bundelen en het geluid dat de woofer naar voren straalt verschilt enigszins met de backwave. Deze ongelijkheid wordt steeds groter naarmate de frequentie stijgt. In het middengebied kan dus nooit volledige uitdoving optreden.











Figuur 11:
Meting vlak voor de woofer (groene lijn) en simulatie van het dipooleffect (zwarte lijn)

Figuur 12:
Semi-dode kamer meting (rode lijn) over de simulatie gelegd

Figuur 13:
Fase informatie van 10-2000 Hz (grijze en donkerrode lijn)

Figuur 14:
Simulatie gecorrigeerd voor correcte aansluiting op de semi-dode kamer meting

Figuur 15:
Combinatie van de resultaten

Na het netjes laten aansluiten van de amplitudes van beide amplitudemetingen moet dit ook voor de fasemeting worden gedaan. Als referentie wordt weer de semi-dode kamermeting genomen en daarop wordt de gesimuleerde dipoolrespons aangepast. Dit wordt gedaan om het resultaat later goed te kunnen aansluiten op semi-dode kamermetingen van middentoners en tweeters. Om de aanpassing te kunnen doen wordt de gesimuleerde dipoolwoofer naar voren gezet in Speaker-Workshop, zodanig dat de fase exact aansluit. In figuur 13 wordt de respons getoond voordat dit is gedaan. Om de grafiek niet te onrustig te maken is hij afgekapt bij 2000 Hz. De donkerrode lijn is de gemeten fase op 1 meter.

In figuur 14 staat de respons nadat de dipoolwoofer in de simulatie op de juiste afstand was gezet om de fase goed te laten aansluiten. In dit geval moest hiervoor de woofer in de simulatie 11 cm naar voren worden geschoven.

Het verkregen simulatieresultaat kan nu worden uitgevoerd. Alle data boven 300 Hz wordt uit het databestand verwijderd, zodat de semi-dode kamer meting hieraan kan worden toegevoegd. Zo ontstaat het totaalresultaat dat in figuur 15 wordt getoond. De respons van de woofer op de open baffle is nu bekend van de laagste tot de hoogste frequenties.

Deze meetmethode is het besluit van dit artikel. De lezer wordt veel plezier en succes toegewenst indien hij ertoe over gaat om ook eens een open-baffle luidspreker systeem te bouwen. Het bouwen van een experimentele baffle is zo gebeurd en ook met goedkope luidspreker drivers zullen al snel verrassend goede resultaten kunnen worden bereikt. Daarmee verdient de open-baffle luidspreker zeker een plek tussen bekende luidspreker principes zoals de gesloten of bassreflex kast en biedt een weergave kwaliteit die hier absoluut niet voor onder hoeft te doen met daarbij een aantal duidelijke voordelen, zoals het ontbreken van kastkleuring en de zeer ruimtelijke weergave.

Website: http://home.wanadoo.nl/dezaire
Email: dezaire@kabelfoon.nl



Moai

Hightech uit Scandinavië

DOOR JELKE DIJKSTRA & TACO DIJKSTRA

Zelfbouwontwerpen voorzien van Audiotechnology luidsprekers kom je niet zo vaak tegen. Dat weerhoudt de auteurs er niet van om met drivers van dit merk een compacte slanke vloerstaander te realiseren. Met weloverwogen ontwerpbeslissingen wordt aangetoond dat deze luidspreker een interessant ontwerp is voor de veeleisende zelfbouwer.

Inleiding

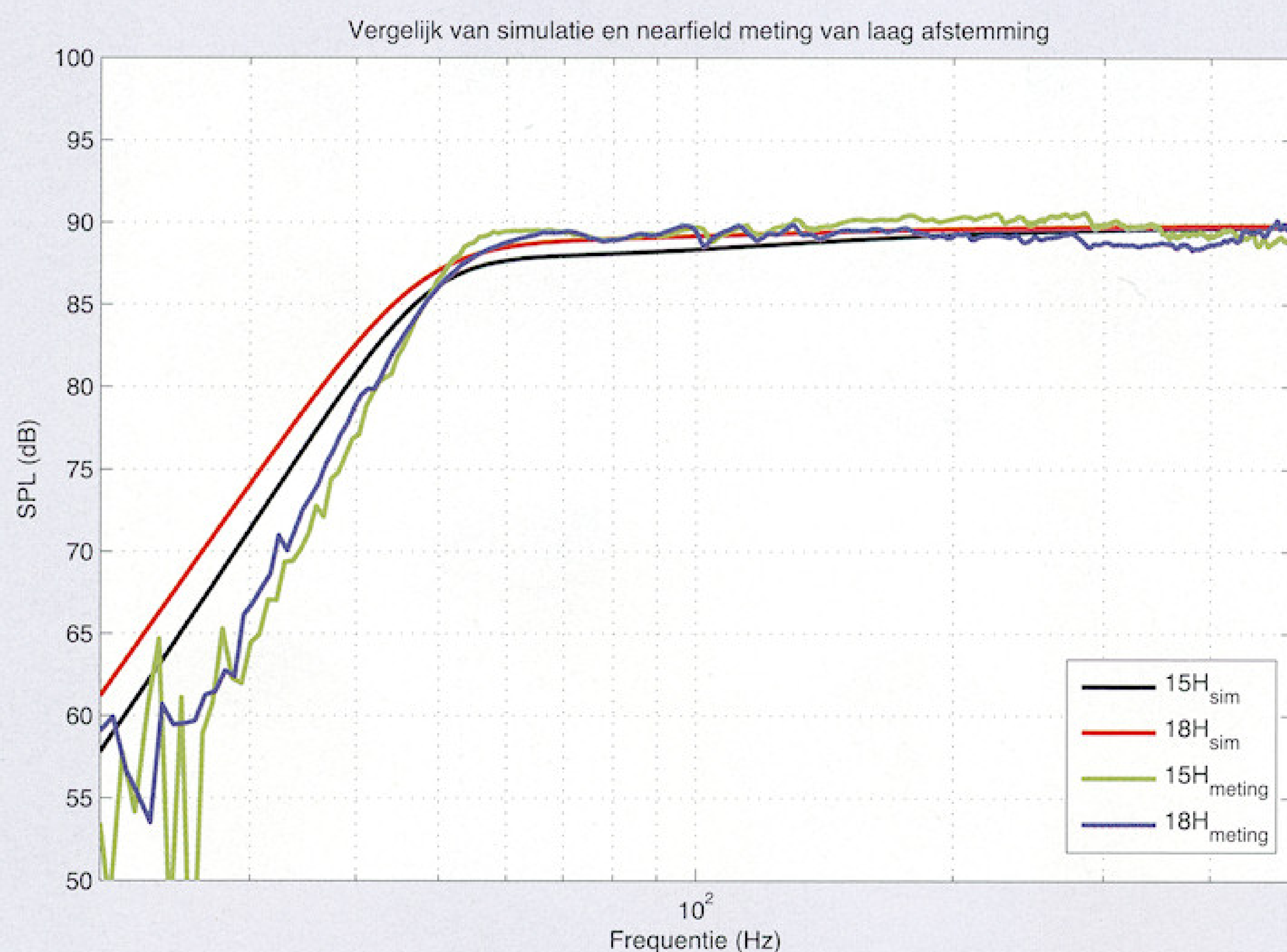
Het gepresenteerde luidsprekerontwerp vindt zijn oorsprong in de wens om een huiskamervriendelijk ontwerp te realiseren dat een voldoende hoog rendement combineert met een gemoedelijk impedantieverloop. Deze uitgangspunten maken het namelijk mogelijk om de luidspreker makkelijk te combineren met een groot aantal versterkers. Zelfs als deze beschikken over een bescheiden uitgangsvermogen (15-50 Watt). Dit alles zonder concessies te doen aan de geluidskwaliteit.

In dit geval is een 2.5-weg ontwerp één van de meest geschikte oplossingen om in combinatie met een compacte bouwwijze een rendement van 88 dB/W/m te behalen. Het doel van 88 dB/W/m lijkt bescheiden, echter in tegenstelling tot veel commerciële ontwerpen is er voor gekozen om in dit ontwerp de 6 dB afval in het laag volledig te compenseren. Dit effect, in de Engelse literatuur ook wel baffle-step genoemd, wordt veroorzaakt doordat bij lage frequenties het geluid in meer richtingen wordt afgestraald dan bij hogere frequenties. Dit heeft als gevolg dat dezelfde hoeveelheid geluids-energie wordt verdeeld over meer richtingen, waardoor op de as van de luidspreker een reductie in rendement wordt waargenomen ten opzichte van de hoge frequenties.

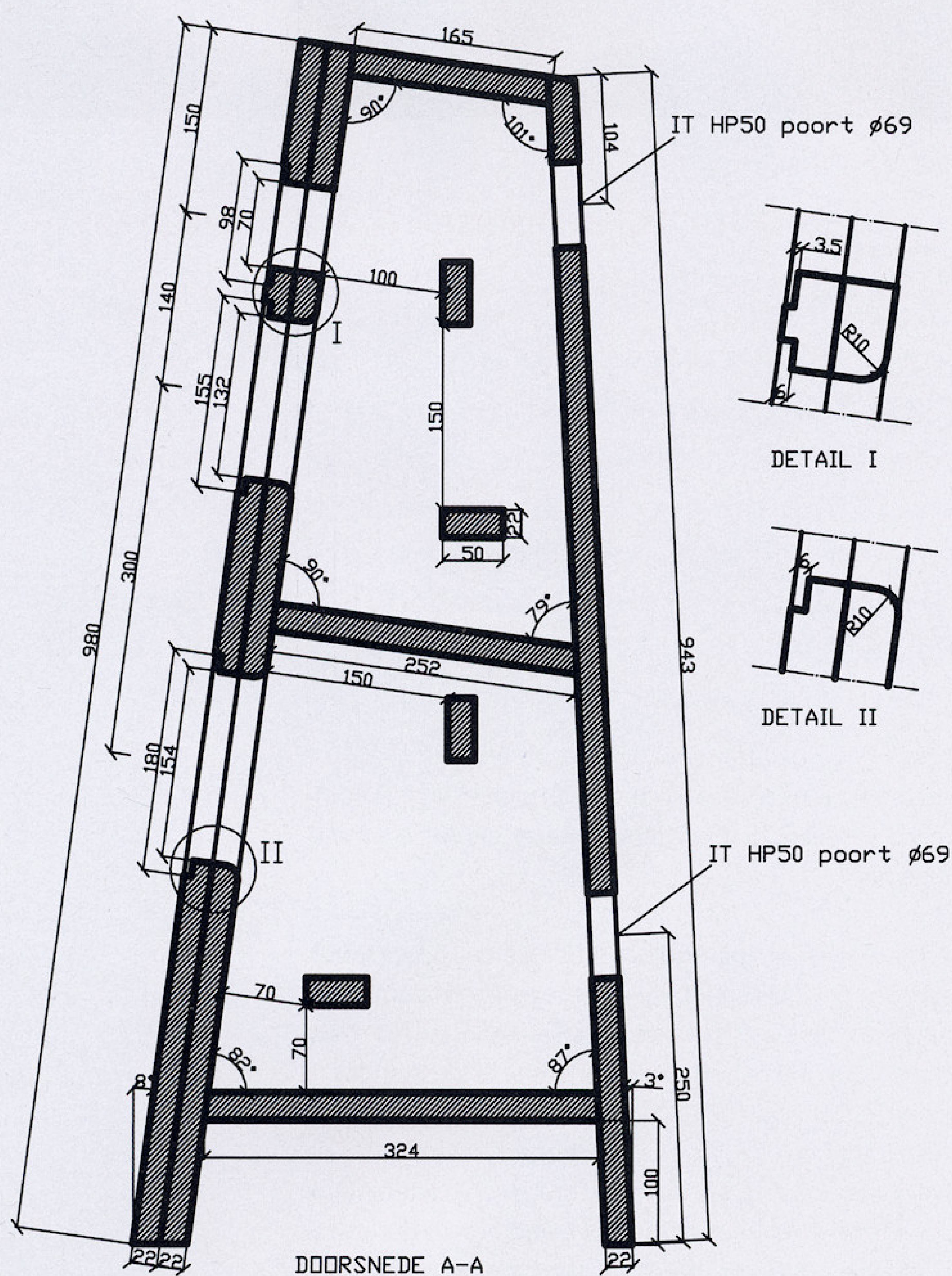
Aluminium of kapton

Om de totale kastinhoud enigszins binnen de perken te houden, maar flexibel te kunnen blijven in de overnamefrequentie tussen mid en hoog, wordt er gekozen voor een 2.5-weg ontwerp. Deze bestaat uit een 15 cm en een 18 cm midwoofer van Audiotechnology gecombineerd met een 25 mm dome tweeter uit de Seas Prestige reeks.

Het is mogelijk om bij Audiotechnology de spreekspoeldrager te specificeren, ook is het mogelijk om een driver naar eigen Thiele-Small specificaties te laten bouwen. Echter, voor het huidige ontwerp wordt de standaard C-quenze 15H 52 06 13 SD als midwoofer en de C-quenze 18H 52 17 06 SD als woofer ingezet. Beide drivers hebben een spreekspoeldrager van aluminium. Hoewel, vergeleken met bijvoorbeeld een kapton drager, er wat meer verliezen zijn wordt de bas van deze luidsprekers iets beter mechanisch gedempt. Wat voor midwoofer applicaties, zoals de onze, een betere keuze is. Tevens beschikt de 15 cm midwoofer over een "underhung" spreekspoel configuratie, de spreekspoel bevindt zich in deze opzet altijd volledig in het magneetveld. De 18H versie moet het met een normale "overhung" aandrijving doen, hierbij verlaat in bepaalde po-



Figuur 1. Kastafstemming zoals gesimuleerd in Unibox en gemeten voor de 15H en 18H midbas



Figuur 2a. Bouwtekening van de luidspreker (doorsnede), maten in mm

sities van de conus een deel van de spreekspoel het magneetveld. De 15H klinkt neutraler wanneer de onderhung opbouw wordt gekozen (door lagere vervormingen in de aandrijving), terwijl de 18H een langere slag heeft, wat weer ten goede komt op het laag.

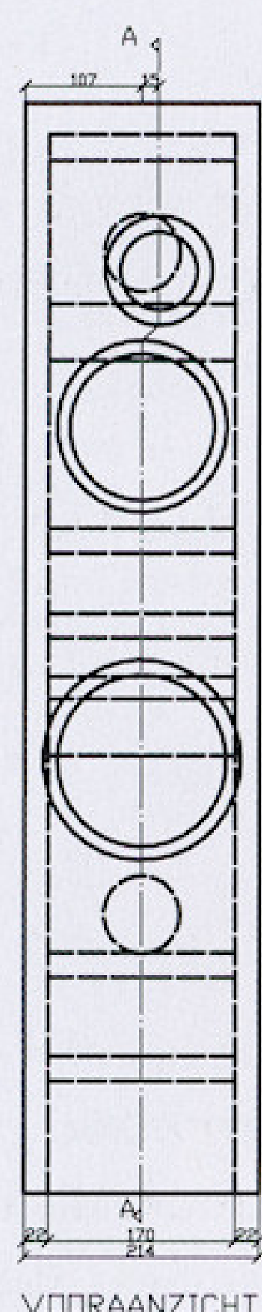
De gebruikte tweeter in dit ontwerp is de recent door Seas geïntroduceerde 27TDFNC textiel dome tweeter. In de aandrijving van deze tweeter wordt gebruik gemaakt van een neodymium ringmagneet. Ook de variant met titanium membraam (27TFFNC) is bruikbaar met hetzelfde filter. Dit is mogelijk doordat beide tweeters over een sterk overeenkomende frequentie response beschikken en dezelfde aandrijving gebruiken. Ook verschillen de elektrische parameters nauwelijks van elkaar.

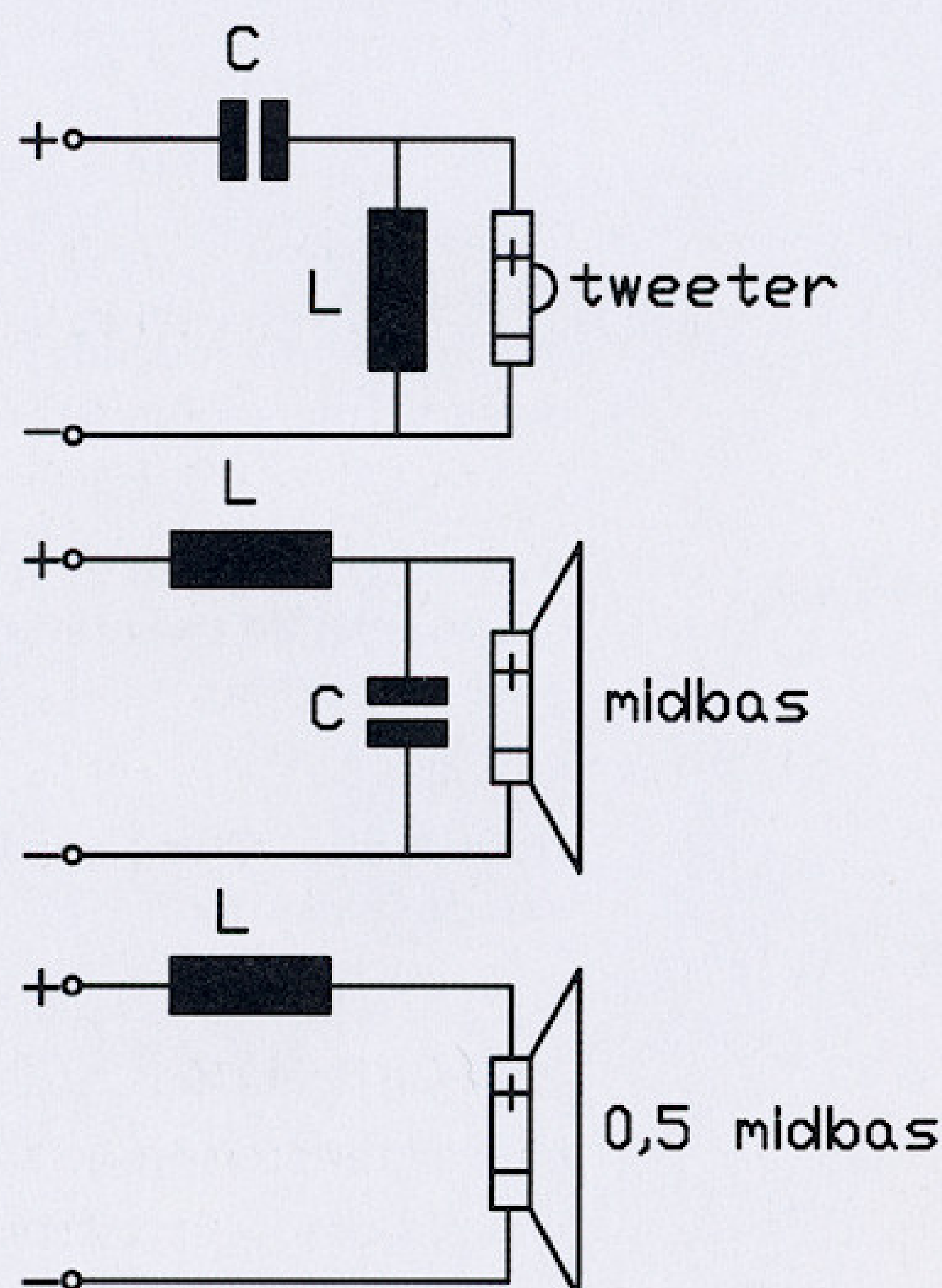
Behuizing

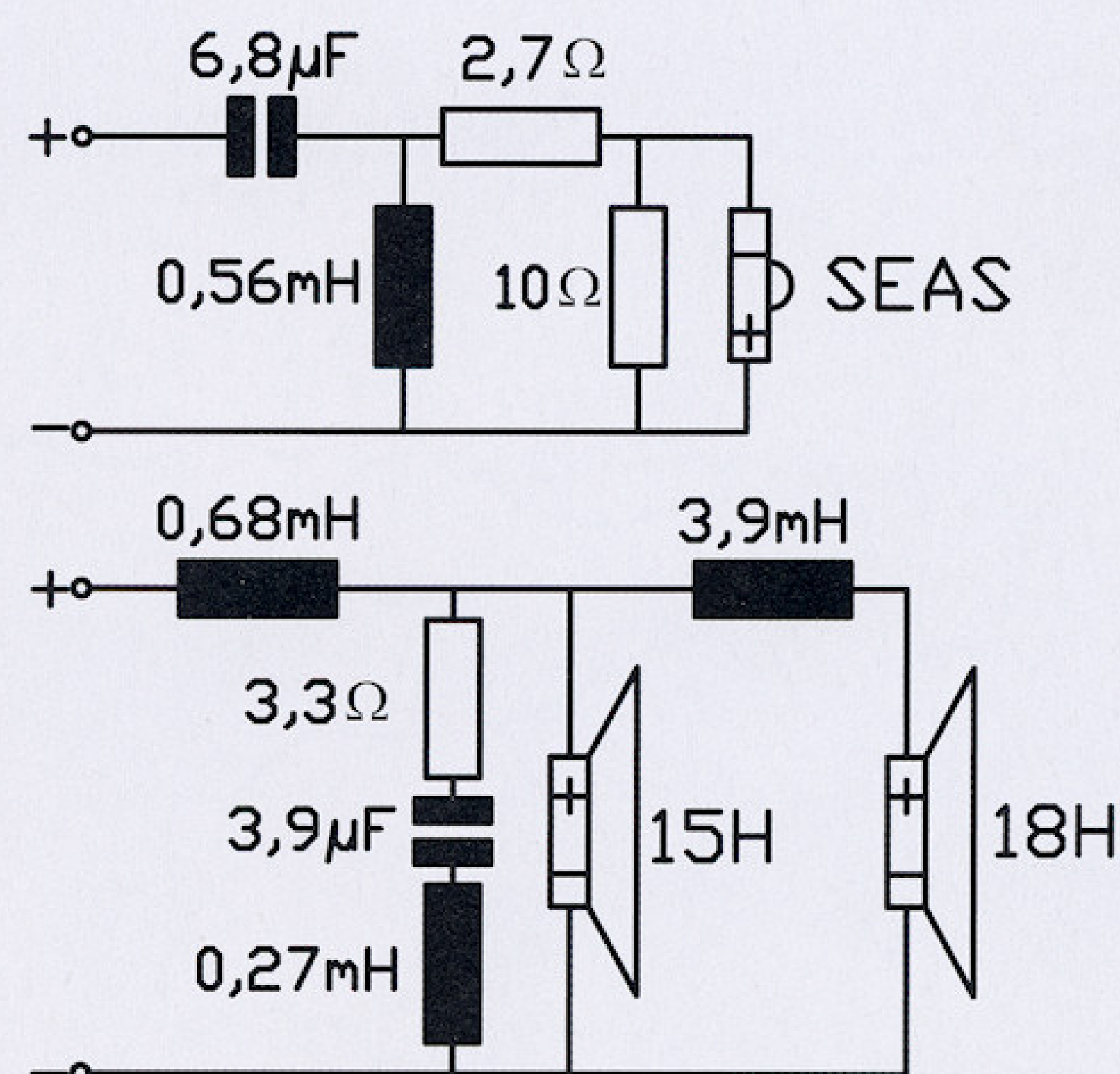
De 2.5 weg maakt gebruik van twee verschillende drivers. Daarom is er voor zowel de 15 cm als de 18 cm midwoofer een aparte behuizing met bas-reflex afsteming ontworpen. Voor de 15H resulteert dat in een netto kastinhoud van 12 liter en een poort die afgestemd wordt op 50 Hz. Wat resulteert in een f3 van 52 Hz. De 18H krijgt een 16 liter behuizing met een iets lager afgestemde poort fp=46 Hz, wat een f3 van 50 Hz oplevert. Een grafische voorstelling van zaken is gegeven in figuur 1. Laatstgenoemde figuur geeft naast de door Unibox (http://home20.inet.tele.dk/kou/ubmodel.html) voorspelde response, ook een nearfield meting van de daadwerkelijk gebouwde kast. Deze meting bestaat uit twee gecombineerde dichtbij metingen van respectievelijk de midwoofer en de poort, zodat ruimteinvloeden in de meting worden geminimaliseerd. Om de curves makkelijker te kunnen vergelijken zijn de gemeten nearfield curves genormaliseerd op de amplitude van de gesimuleerde curve. Duidelijk valt uit de figuur af te lezen dat de gemeten afstemming van de bovenste en onderste midwoofer nauwelijks van elkaar verschillen, echter vergeleken met de voorspelde response treedt er een verschil op.

Omdat in beide gevallen de behuizing redelijk klein uitvalt zal het volume wat door de magneet en de korf van de driver (~0,7 liter) en het volume van de basreflex poort (~0,3 liter) moeten worden verrekend op het netto volume, zodat bruto ca. 13 liter voor de behuizing van de 15H en 17 liter voor de behuizing van de 18 H moet worden gerealiseerd. De poort voor de 15H is 145 mm lang terwijl voor de 18H een 133 mm lange poort krijgt, in beide gevallen een binnendiameter van 50 mm (Intertechnik HP50).

In figuur 2 is de bouwtekening voor de luidspreker weergegeven. De gehele luidspreker is uitgevoerd in 22 mm dik MDF, waarbij de baffle dubbeldik is uitgevoerd. Aan de achterzijde zijn de basreflexpoorten geplaatst. Tevens is aan de onderzijde wat ruimte vrijgelaten om het scheidingsfilter te kunnen bevestigen. Deze ruimte kan worden afgesloten door een extra bodemplaat aan te brengen (is niet ingetekend). Om staande golven in de behuizing tegen te gaan staan de voorzijde en de achterzijde onder een hoek. En onderbreken de verstevigingsschotten de ruimte in verticale zin. Het wordt aangeraden om alvast de gaten voor de bedrading in de tussenschotten te boren voordat de kast wordt gelijmd. Wanneer de kast helemaal gelijmd is kan je er namelijk nog maar lastig bij.







Een bijkomend voordeel van de schuine baffle is de uitlijning van de tweeter en de midwoofer, zodanig dat het afstraalgedrag op de verticale as wordt geoptimaliseerd. Zoals bekend valt bij een vlakke baffle de sommatie van de tweeter en de midwoofer (met verschillende filter topologiën), onder de luisteras op tweeterhoogte. Door nu de baffle onder een hoek te zetten wordt dat gecompenseerd. De hier voorgestelde kast is misschien lastig te bouwen doordat zowel de voor- als achterzijde onder een hoek staan. In dat geval zou men ook kunnen volstaan met alleen het plaatsen van de baffle onder een hoek. Let er in dit geval wel op dat de breedte van de luidspreker en de posities van de drivers op de baffle hetzelfde blijven als in de tekening. Het scheidingsfilter is namelijk afgestemd op deze verhoudingen. De hoge tonen luidspreker is 15 mm uit de middenas geplaatst, deze positie dient te worden gespiegeld voor ieder kanaal. Doordat de tweeter uit het midden staat zijn de afstanden van de tweeter tot de randen van de baffle in alle richtingen ongelijk. Hierdoor heb je minder last van diffractie die optreedt als de reflectie van de geluidsgolven de zijkant van de baffle bereiken.

De wanden dienen te worden bekleed met 4 mm dik vilt (bijvoorbeeld ondertapijt) of met de gebruikelijke pritex matten. Eventueel kan dit worden uitgebreid met een prop BAF (polyester matten) direct achter de driver. Let er op dat de ruimte rondom de basreflex poort vrij van dempingsmateriaal blijft.

Het scheidingsfilter

In een klassiek 2,5-weg ontwerp wordt de midwoofer aan de onderzijde van het frequentiebereik geholpen door een identieke luidspreker. Dit alles om de bafflestep te compenseren. Eén midbas geeft het volledige frequentiebereik weer totdat tweeter het overneemt. De andere midwoofer vult aan tot de overgangsfrequentie van de bafflestep. Deze overgangsfrequentie is moeilijk te voorspellen, maar is makkelijk te onderscheiden wanneer een verre veld meting van de luidspreker in zijn behuizing wordt gedaan, een nabij meting of een meting van de luidspreker op een grote baffle zal dit effect niet tonen. Voor een smalle baffle ligt deze overgangsfrequentie hoger dan voor een brede baffle, maar over het algemeen genomen ligt deze frequentie tussen de 200 en 500 Hz. Het huidige ontwerp wijkt af van de klassieke aanpak omdat de onderste midwoofer van een ander type is. Het groter kiezen van de tweede midwoofer geeft wat meer dynamiek reserve dan wanneer voor twee 15H luidsprekers was gekozen. Een bijkomend voordeel is dat modelspecifieke vervormingen niet worden versterkt maar worden uitgesmeerd over het frequentiebereik aangezien voor iedere type deze effecten zich manifesteren op een andere frequentie.

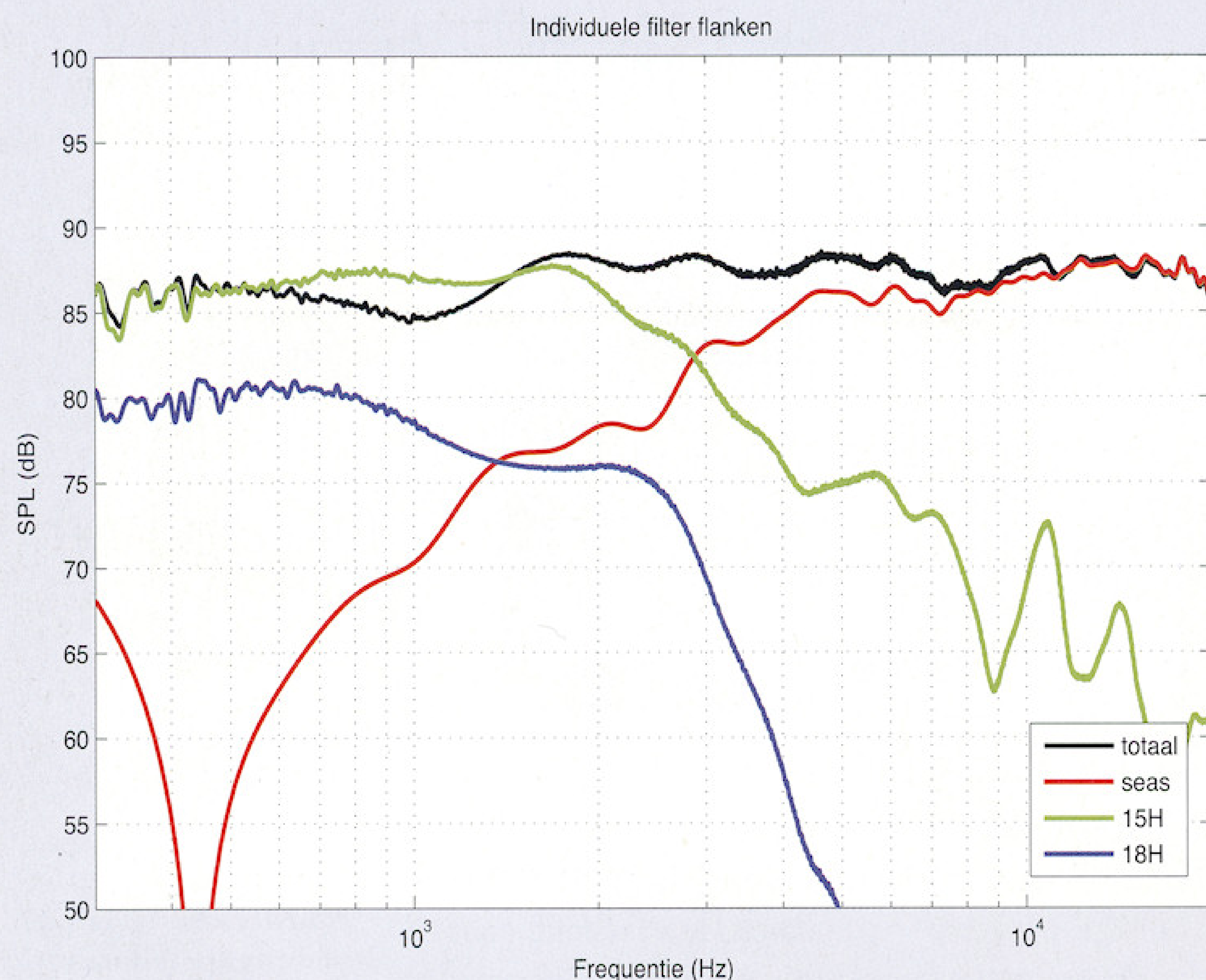
Ook het filter wijkt af van de standaard 2.5-weg implementatie. In navolging van Bagby (http://www.pvconsultants.com/audio/crossover/pcd.htm), wordt er niet voor gekozen om een aparte filtertak voor de onderste midwoofer te gebruiken, zie figuur 3 maar deze staat parallel geschakeld aan de andere midwoofer met een extra spoel. Deze oplossing maakt het makkelijker om de integratie tussen de twee midwoofers goed te krijgen, tevens is het aantal benodigde componenten kleiner. Ook is de waarde voor de extra spoel een stuk lager dan in de conventionele opzet.

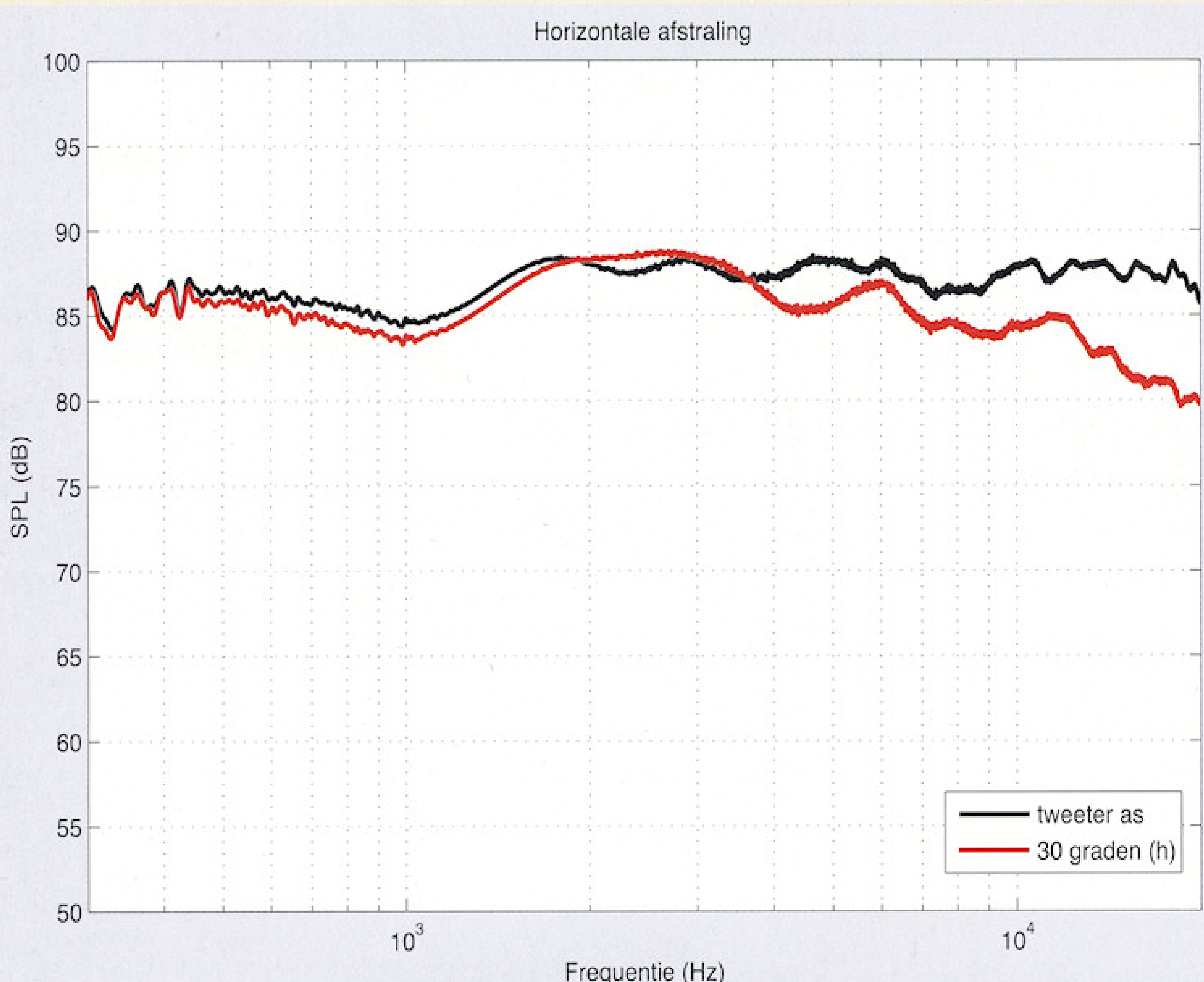
Het uiteindelijke filter staat weergegeven in figuur 4. De overgang van het hoog en mid ligt op 2950 Hz en heeft 3e orde Bessel akoestische flanken. Deze is op het hoog gerealiseerd met een 2e orde elektrisch filter, de tweeter staat elektrisch uit fase. Op het mid wordt een serie spoel in combinatie met een serie zuigkring (componenten staan in serie) parallel aan de midwoofer gerealiseerd. De 18H is met een additionele spoel parallel geschakeld en loopt het hele bereik onder de 15H en kruist de curve van de tweeter op 1500 Hz. De metingen van de individuele curves en de sommatie is weergeven in figuur 5. Doordat de meetmicrofoon op 1 meter afstand vanaf de baffle is geplaatst en er niet in een dode kamer is gemeten kan gebruikmakend van een speciale meetmethode vanaf ongeveer 300 Hz een meting verkregen worden die vrij is van ruimtereflecties. Dit wordt bereikt door de meetmicrofoon af te sluiten voordat de eerste reflecties (meestal de vloer) de microfoon hebben bereikt. De dip, te zien bij 1 kHz, wordt veroorzaakt door het verschil in fase van de onderste en bovenste midwoofer, echter deze dip verdwijnt volkomen wanneer er onder de luisteras wordt gemeten.

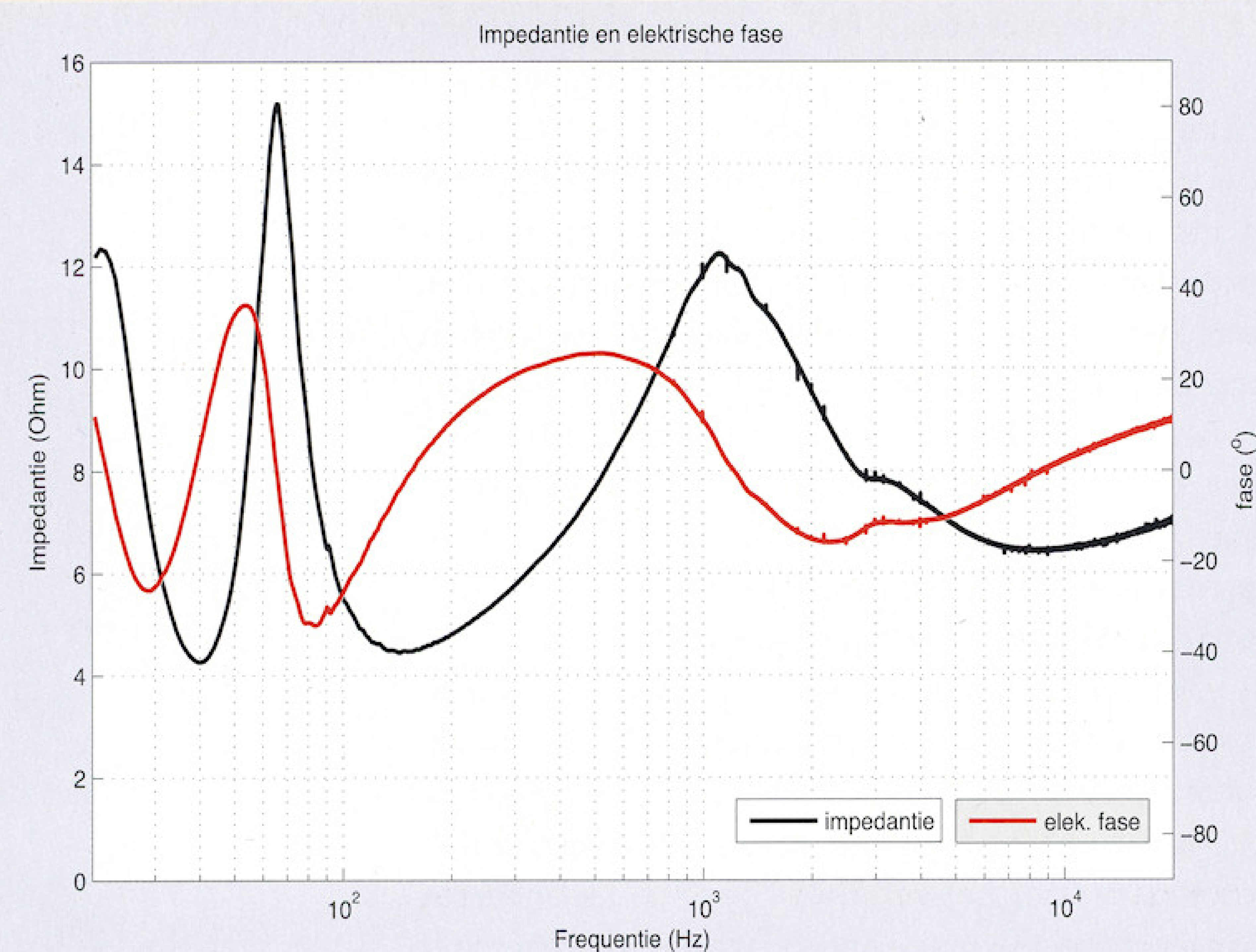
Figuur 2b.
Bouwtekening van de luidspreker (vooraanzicht), maten in mm

Figuur 3.
Conventionele aanpak 2.5 weg filter

Figuur 4.
Uiteindelijke 2.5 weg filter met extra spoel op het laag, de tweeter is uit fase aangesloten.







Figuur 5.
Meting van de individuele curves van de gebruikte drivers, microfoonafstand 1 m, geen smoothing

Figuur 6.
Afstraalgedrag van de luidspreker op 0 graden en 30 graden van de tweeter as, microfoonafstand 1 m, geen smoothing

Figuur 7.
Impedantie (Ohm) en elektrische fase (o) van de luidspreker

Zoals in figuur 6 is te zien geeft de combinatie van het gebruikte filter en de schuine voorzijde een buitengewoon homogeen afstraalgedrag. Ondanks het relatief hoge onvernamepunt tussen de 15H en de Seas is er geen bundeling van de 15H waarneembaar in de meting. Het gemoedelijk afvallen van het hoog op 30 graden horizontaal van de as wordt voornamelijk door de tweeter veroorzaakt. De streefwaarde voor het rendement is gehaald, datzelfde geldt ook voor de impedantie, weergegeven in figuur 7. Deze is redelijk vlak en ligt altijd tussen de 4 en 15 Ohm zonder al te sterke (elektrische) fasedraaiingen. Doordat de Seas 27TDFNC en de Seas 27TTFNC tweeters vrijwel identiek zijn kan de titanium variant zonder aanpassingen aan het filter gebruikt worden. De titanium dome heeft alleen een iets hoger rendement tussen de 5 en 9 kHz. Gehoormatig zijn de verschillen tussen de twee materiaaltypen klein. De titanium variant lijkt iets neutraler te klinken, de textiel variant past qua karakter daarentegen iets beter bij de klank van de Audiotechnology midwoofer.

Afsluitend

Zijn de ontwerpdoelen gehaald? De kast is opvallend compact gebleven en oogt kleiner dan deze in werkelijkheid is. Natuurlijk helpt hierbij ook de lichte kleur. De metingen wijzen uit dat het systeem de 88 dB/W/m daadwerkelijk haalt. En dit alles met een eenvoudig scheidingsfilter. Wanneer er in plaats van een testsignaal muziek uit de luidsprekers rolt, vallen de grote afbeelding en de rust van het systeem op. De luidspreker heeft een onopvallende eigen klank, het laat simpelweg horen wat ervoor geschakeld is.

Specificaties

Naam:	Moai
Ontwerp:	Jelke Dijkstra, Taco Dijkstra
Principe:	2.5-weg bassreflex
Woofer:	C-quenze 18H 52 17 06 SD
Midwoofer:	C-quenze 15H 52 06 13 SD
Tweeter:	Seas 27TDFNC of Seas 27TTFNC
Scheidingsfilter:	2e orde (12db/oct), kantelpunt 2950 Hz
Afmetingen:	ca. 980x215x500 mm (hxbxd)
Rendement:	88 dB/W/m
Prijs filter:	€ 51.20
Prijs drivers:	€ 550.00
Prijs kast:	€ 335.00, volledig CNC gefreesd en verlijmd.
Totaal:	€ 936.20 per stuk.

OB3W

Drieweg open-baffle dipool van formaat

DOOR JEROEN DEZAIRE



De OB3W is een dipool luidsprekersysteem. Dit wil zeggen dat het geluid zowel naar voren als naar achteren wordt afgestraald voor zowel de lage, midden als hoge tonen. De geluidskwaliteit die met dit afstraalgedrag in de huiskamer kan worden bereikt is verbazingwekkend. De theorie hierachter wordt nog niet volledig begrepen, daarom zijn luistertesten meer dan anders het belangrijkste hulpmiddel geweest bij optimalisatie van het scheidingsfilter.

Inleiding

Nog steeds bestaan bijna alle luidsprekers uit een combinatie van drivers met elk hun eigen behuizing. Bij tweeters is de behuizing geïntegreerd en te vergelijken met een gesloten kast. Voor middentoners wordt ook het liefst een gesloten behuizing van enkele liters gebruikt. Voor woofers en breedbanders bestaat een heel scala aan mogelijkheden. Hierbij kan worden gedacht aan gesloten, basreflex, transmissielijn, hoorn en variaties hiervan. Er bestaan ook systemen, vooral in de zelfbouwwereld maar toch ook commercieel, die slechts een baffle gebruiken en geen kast. Dit worden open-baffle luidsprekers genoemd. Om een kwalitatief goed geluid te krijgen over het gehele voor ons hoorbare spectrum moet de omvang van de baffle relatief groot zijn. Dit is waarschijnlijk de reden dat de commerciële systemen van dit type nogal exclusief zijn qua prijs en uiterlijk, voor massaproductie komt dit type niet in aanmerking. Het grote voordeel van deze systemen is dat ze op een bijzondere wijze integreren met de gemiddelde huiskamer en daarin een sublieme, levensechte geluidsbeleving kunnen creëren. Het hier beschreven systeem is een drieweg systeem, passief gefilterd en ongeveer 44 cm breed bij 122 cm hoog. Met deze grootte kan een behoorlijke geluidsdruk worden bereikt over een groot frequentiebereik. Door een zorgvuldige selectie van luidspreker drivers en filter onderdelen, waarbij zo min mogelijk compromissen zijn gesloten, is het geheel nog steeds betaalbaar.

Drie merken drivers

Het eerste uitgangspunt voor de keuze van de drivers was de prijs/kwaliteit verhouding. Daarbij is niet specifiek gekozen voor een lage prijs, maar voor een kwaliteit die meettechnisch en gehoormatig niet of nauwelijks onderdoet voor het beste wat er verkrijgbaar is. Het tweede criterium was een mooie verdeling over het frequentiebereik. De woofer moest bruikbaar zijn tot 300 Hz en de tweeter inzetbaar vanaf 2000 Hz. Verder moest de tweeter geluid naar voren en achteren kun-





Peerless SLS-12 woofer.

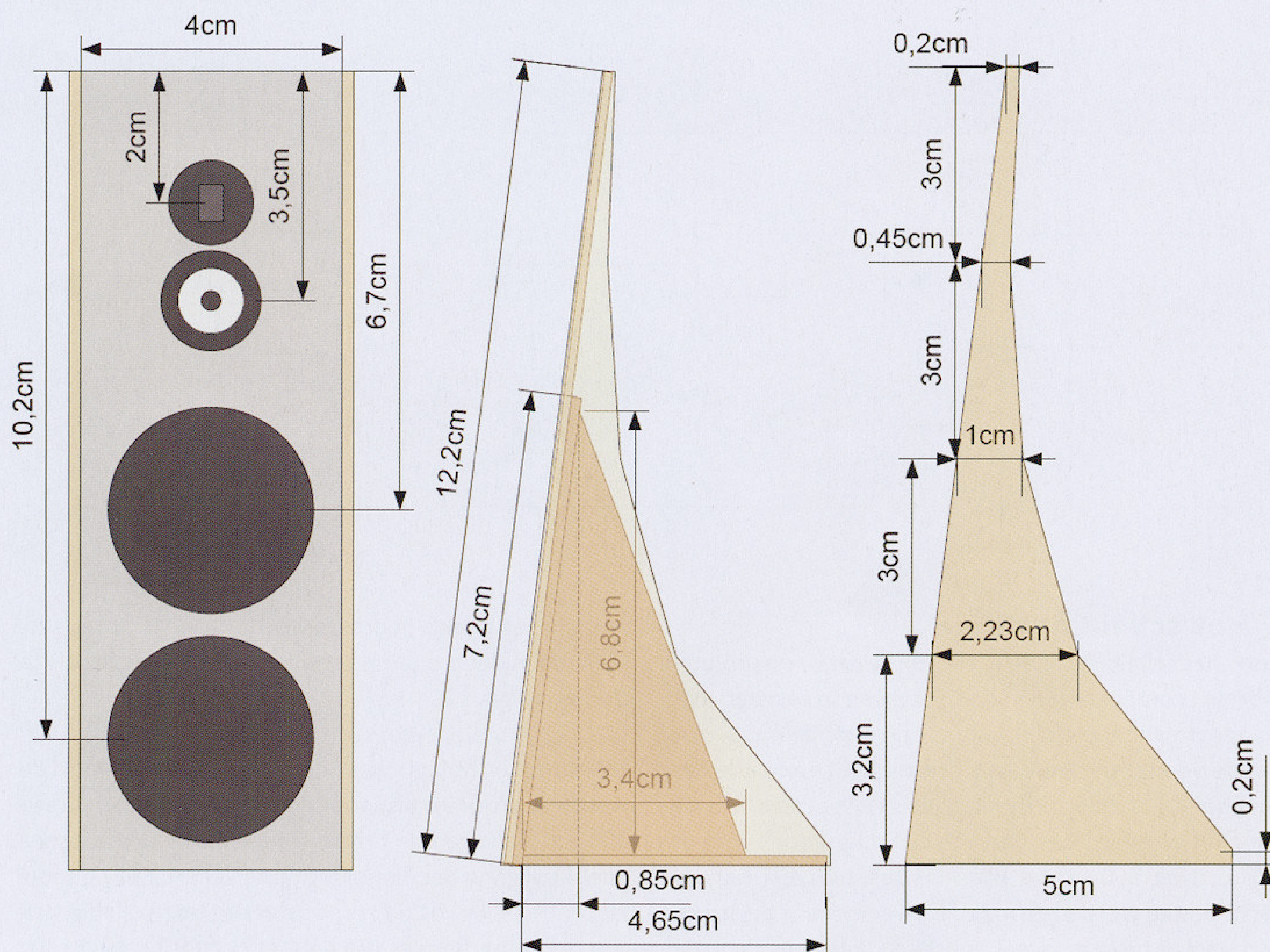
nen afstralen om te voorkomen dat twee tweeters rug-aan-rug zouden moeten worden gemonteerd op een dikke baffle. Als laatste criterium is getracht te selecteren op een vervorming die zo laag is dat deze bij een gemiddeld afspeelniveau beneden de hoorbaarheidsgrens ligt.

Voor de woofer is gekozen voor de SLS-315 van Peerless, beter bekend als de SLS-12. Deze woofer uit de SLS-serie is het goedkopere broertje van zijn equivalenten uit de exclusieve XLS- en XXLS-serie. De XLS drivers staan bekend om hun lage vervorming en hebben een zeer sterke en stijve maar zware conus. Het zijn dan ook echte subwoofer drivers waarvan het membraan de hoge druk in relatief kleine kasten moet kunnen weerstaan. De veel goedkopere SLS-serie heeft vrijwel dezelfde aandrijving behalve dat er een enkele in plaats van een dubbele magneet is gebruikt. De aandrijving hoeft namelijk niet zo zwaar te zijn, het membraan van deze driver is veel lichter en dus ook wat minder sterk dan de membranen van de XLS-serie. Voor normale subwoofer kasten zou dit tot een compromis leiden, voor een open baffle systeem is dit een probleem dat zich hooguit in de marge afspeelt. Het grote voordeel van de minder zware aandrijving en het lichte membraan is dat de SLS-serie veel breedbandiger is en de conus hoger in frequentie opbreekt. Inzet tot 300 Hz is daarmee geen enkel probleem. Twee van deze woofers hebben een gezamenlijk oppervlak van 1080 cm². De maximale lineaire uitslag (Xmax) is 16 mm piek-piek. Dit maakt ze zeer geschikt voor gebruik in een open baffle systeem. Het grote membraanoppervlak zorgt ervoor dat een systeemrendement van ruim 90 dB kan worden gehaald, ondanks de akoestische kortsluiting door de open baffle.

Voor de middentoner is de keuze gevallen op de Visaton AL130. Deze midwoofer valt meettechnisch op door zijn extreem lage vervorming, waarmee het criterium van vrijwel onhoorbare vervorming bij een gemiddeld afspeelniveau wordt gehaald. In het ontwerp van de aandrijving van het membraan heeft Visaton alles uit de kast getrokken om de vervorming zo laag mogelijk te houden. Een belangrijke onderdeel hiervan is een gesloten koperen ring die om de poolkern is geschoven. Verder wordt de vervorming beperkt door een Kapton spoeldrager te gebruiken in tegenstelling tot een aluminium spoeldrager waarin wervelstromen kunnen optreden. Deze spoeldrager zorgt er door het ontbreken van wervelstromen bovendien voor dat de mechanische verliezen worden beperkt, de ervaring leert dat dit de geluidskwaliteit ten goede komt. Om de mechanische verliezen verder te beperken zijn er ventilatiegaten in het frame achter de spider aangebracht en is de poolkern doorboord. Het aluminium membraan begint pas bij 8000 Hz op te breken en de grote stijfheid van dit membraan draagt verder bij aan de zeer lage vervorming, lager dan die met papierachtige membranen kan worden bereikt.

Voor de tweeter waren de keuzemogelijkheden nogal beperkt vanwege de eis dat er aan weerszijden moet worden afgestraald. Gelukkig heeft Bohlender Graebener rond het jaar 2000 de NEO3 op de markt gebracht. De technologieën die de kern vormen van deze magnetostaat tweeter zijn een Kaladex membraan van Dupont en kleine neodynium magneten. Het Kaladex membraan maakt het mogelijk dat de tweeter zelfs tot 1200 Hz kan worden gebruikt, dit in tegenstelling tot de vroegere magnetostaten die gebruik maakten van Mylar als membraan materiaal. Het probleem met Mylar was de beperkte temperatuurbestendigheid. Nogal wat van deze tweeters zijn letterlijk in rook opgegaan indien niet gebruik gemaakt werd van steile filters en inzet boven 4000 Hz. De neodynium magneten zijn in strips van vijf paren aan weerszijden van het Kaladex membraan aangebracht in een push-pull configuratie. Dit laat vier stroken membraan vrij van 5,5 cm lengte en een totaal stralend oppervlak van ongeveer 11 cm². Bohlender Graebener heeft een jaar later de NEO3PDR ontwikkeld om het afstraalgedrag voor de hoogste frequenties te verbeteren. Daarbij is op de twee buitenste stroken een soort vilt aangebracht zodat voor de hoogste frequenties alleen de binnenste twee stroken nog effectief zijn. Het resultaat is een vrijwel ideaal horizontaal afstraalgedrag tot aan 10kHz. De vervorming is erg laag, vanaf 2000 Hz ligt deze net als bij de middentoner beneden de hoorbaarheidsgrens.

De tweeter wordt normaal geleverd met een kapje met dempingsmateriaal aan de achterkant, dat hem geschikt maakt voor conventioneel gebruik alsof het een dome



Figuur 1: Bouwtekening

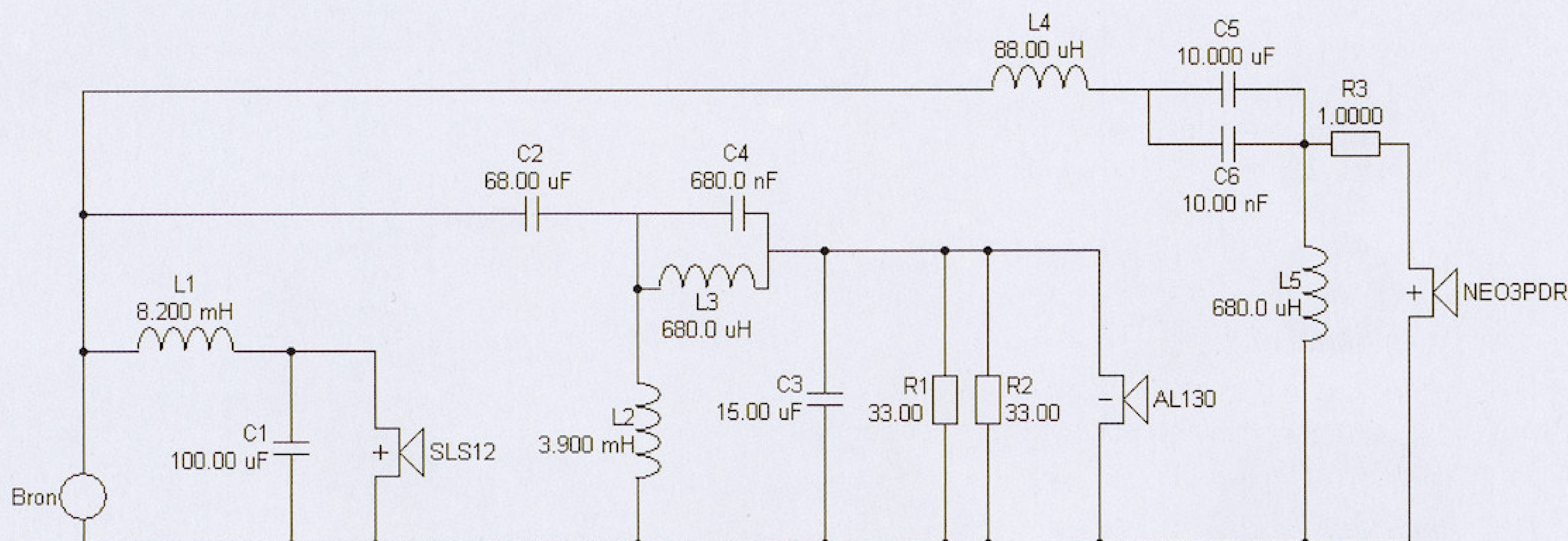
tweeter is. Het kapje zit met siliconenkit vast en kan met een Stanleymes en een dun schroevendraaiertje gemakkelijk worden verwijderd. Het resultaat van deze actie is een volledig symmetrische tweeter die als een dipool werkt. De opbouw ziet er ongelooflijk eenvoudig uit. Het membraan kan nu volledig vrij bewegen in een mechanische opzet die met recht als minimalistisch kan worden beschouwd. Voor verzonken montage en een zo recht mogelijk frequentieverloop is een 'faceplate' verkrijgbaar bij de tweeter. Met de bijgeleverde vier schroefjes kan de tweeter hierop worden gemonteerd.

Ontwerp en constructie van de open baffle

De open-baffle is qua constructie het stevigst gebouwd op de plek waar de woofers zijn gemonteerd, hier vindt dan ook de grootste luchtverplaatsing plaats. Op de plek van de middentoner en tweeter is de baffle gemaakt van slechts 12 mm dik MDF, dit alles met het doel om paneelresonanties voornamelijk beneden het werkingsgebied van de middentoner en tweeter te leggen. Het belangrijkste argument voor deze beperkte dikte was echter het bereiken van symmetrisch afstraalgedrag. Uitgebreide experimenten met verschillende baffle constructies zijn voorafgegaan aan dit systeem. Bij het opmeten van het afgestraalde geluid van de middentoner en tweeter is onderzocht onder welke omstandigheden het naar voren en achteren afgestraalde geluid zoveel mogelijk op elkaar lijkt. Het is gebleken dat bij een mooi ogende verzonken montage van de drivers de baffle dan zo dun mogelijk moet zijn. De drivers mogen aan de achterkant niet 'opgesloten' zijn in de korte koker die ontstaat bij het uitzagen van een cirkelvorming gat in een dikke baffle.

De benodigde stijfheid van de constructie ter hoogte van de woofers wordt bereikt door een basis die gebouwd is van 15 mm hardhouten multiplex. De schuine zijkanten en de bodem van het frame moeten worden bekleed met Visaton noppenschuim van 65 mm dik. Nadat de basis is voorzien van de 12 mm dikke baffle voor het midden en hoog, wordt het geheel versterkt met twee zijpanelen van 18 mm dik MDF. Figuur 1 geeft de bouwtekening met voor- en zijaanzichten. Daaruit zou ook duidelijk moeten zijn hoe de basis voor de woofers is opgebouwd. Alle afmetingen zijn op schaal 1:10 opgegeven. Voor de gaten in de baffle zijn in de tekening de hartafstanden tot de bovenkant van de baffle opgegeven. De gaten voor de woofers zijn 27,8 cm groot en het gat voor de middentoner is 11,5 cm groot.

Het gat voor de tweeter is 7,0 cm breed en 9,2 cm hoog. Voor verzonken montage is er voor de middentoner een 6 mm diepe uitfrezing gemaakt met een diameter van 15,3 cm. De rand van het frame van de middentoner is 4 mm dik, waardoor na montage aan de voorkant een randje van 2 mm overblijft. Dit is bewust gedaan om de symmetrie van het afstraalgedrag voor en achter zo goed mogelijk te krijgen. Voor de 'faceplate' van de tweeter is een uitfrezing van 5,5 mm diep nodig met een diameter van 13,0 cm. Bij de tweeter worden stukjes plakvilt geleverd, deze zijn gebruikt onder de faceplate en bovenop de randen aan de achterzijde van de tweeter. Dit laatste is gedaan om uitstekende randjes te voorkomen en de tweeter aan de achterkant beter te laten aansluiten op de baffle. Het prototype van de OB3W is afgewerkt met fineer op de direct zichtbare delen, de achterzijde is aan de binnenkant zwart gelakt.



Figuur 2: Filterschema

Het scheidingsfilter

Voor het scheidingsfilter is ervoor gekozen om zo min mogelijk componenten in de signaalweg te plaatsen, dat wil zeggen niet meer dan 1 spoel en/of condensator tussen de versterker en iedere driver. Dit betekende dat het filter 1ste of 2de orde moest zijn. Een 2de orde filter was voor dit ontwerp een betere keus. De woofer wordt gefilterd op 300 Hz en kan niet tot een veel hogere bandbreedte worden gebruikt. De vervorming begint op te lopen en hij gaat teveel opbreken. Een tweede orde filter onderdrukt deze zaken afdoende. Voor de middentoner geldt hetzelfde, daar zou door een 1ste orde filter het opbreken bij 8000 Hz niet voldoende worden onderdrukt. Bovendien wordt gestreefd naar een zo symmetrisch mogelijke afstraling van geluid voor en achter de baffle, door de magneet achter de middentoner is dit niet mogelijk voor frequenties boven 2000 Hz. Met een 2de orde filter worden frequenties boven 2000 Hz voldoende snel onderdrukt. Een scheidingsfrequentie van 2000 Hz heeft voor de tweeter ook meteen de consequentie dat een 2de orde filter noodzakelijk is. Een 1ste orde filter zou teveel van de tweeter vragen tenzij de scheidingsfrequentie zou worden verhoogd naar 3000 of 4000 Hz.

Door de licht achterover hellende baffle zijn de drivers netjes in fase uitgelijnd. Daarbij hebben alle drivers van zichzelf een erg vlak amplitude en faseverloop. De impedantie van de tweeter is ideaal vlak en die van de middentoner is erg lineair voor een conusluidsprekerdriver. Dat wil zeggen dat het filter zich bijna geheel gedraagt volgens het boekje. Bij een tweede orde filter dat zich volgens het boekje gedraagt wordt in een drieweg systeem de middentoner in tegenfase aangesloten, zoals te zien is in figuur 2.

Enkele zaken vallen op in dit filter. Spoel L1 voor de woofer is groot in relatie tot de scheidingsfrequentie van 300 Hz. Dit is gedaan om de (gedeeltelijke) akoestische kortsluiting van het dipoollaag op te heffen. Met de spoel van 8,2 mH wordt de respons in het laag volledig vlak getrokken en bereikt dat het -3 dB punt bij 40 Hz ligt en het -6 dB punt bij 33 Hz.

Het volgende punt dat opvalt is condensator C4 parallel aan L3, waarmee een zogenaamde 'notch' wordt gelegd op 7400 Hz. Dit zorgt voor een sterke onderdrukking van het gebied van 8 tot 10 kHz waar de middentoner opbreekt. Als laatste dient spoel L4 te worden vermeld. De tweeter heeft op zich een zeer vlak verloop, maar in de toepassing als dipool is deze respons een schuine lijn die oploopt naarmate de frequentie toeneemt. Spoel L4 corrigeert de oplopende respons van de tweeter tot een rechte lijn. De waarde van L4 is kritisch voor het juiste niveau van weergave van de hoge tonen. Aangezien de weergave van hoge tonen ook erg afhankelijk is van de luisterruimte en (weliswaar in mindere mate) van de versterker en gebruikte bekabeling, geeft deze spoel een uitstekende mogelijkheid om de klank te beïnvloeden naar eigen behoefte. De basis voor L4 is een spoel ter waarde van 0,1 mH en een draaddikte van 0,71 mm. Voor het prototype van de OB3W bleek in de betreffende luisterruimte, met de gebruikte apparatuur, een spoelwaarde van 0,088 mH de hoge



Visaton AL130 midwoofer

tonen op het juiste niveau weer te geven. Hiervoor werden drie windingen van de spoel afgewikkeld. Mocht het zo zijn dat zelfs bij de originele waarde van 0,1 mH de hoge frequenties teveel aanwezig zijn, dan kan voor R3 beter een waarde van 1,2 Ohm worden genomen. C6 is een audiofiel grapje, veel mensen claimen dat het hoog met deze Vishay MKP 1837 0.01 uF net nog wat beter klinkt. Ze zijn erg goedkoop en daarom in het filter opgenomen, onder het motto 'baat het niet dan schaadt het niet'. De componenten zijn gedeeltelijk gesponsord door Crafty te Groningen (http://www.crafty.nl). De condensators zijn daarom van het merk ClarityCap en de spoelen van Jantzen Audio.

Meten

De impedantiemeting (Figuur 3) laat zien dat de OB3W voor de meeste versterkers geen probleem zal opleveren in de aansturing.

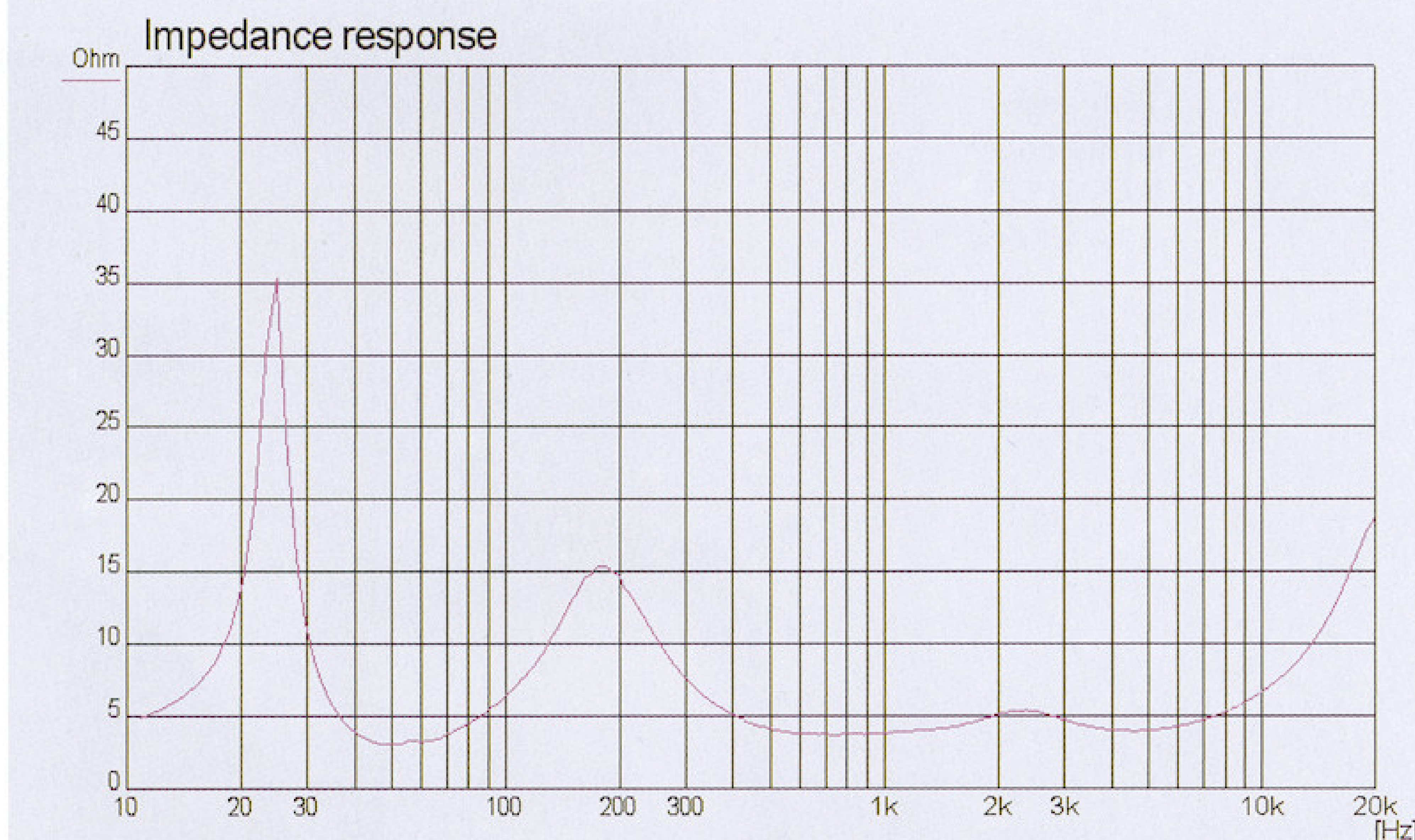
Met behulp van DLSA Pro zijn akoestische metingen uitgevoerd op 1,8 meter afstand van de luidspreker (Figuur 4). Het afstraalgedrag is zoals beoogd was voor de OB3W. De frequentiekarakteristiek blijft globaal gezien gelijk, onafhankelijk van de hoek waaronder wordt gemeten. Omdat het aardig is om te zien dat het geluid voor en achter hetzelfde is maar in tegenfase, is de meetdata gecompleteerd met een meting precies opzij van de luidspreker (bruine lijn). Doordat het geluid voor en achter hetzelfde in niveau is maar tegengesteld in fase, is het in zijn totaliteit flink gezakt (ca. 20 dB behalve net boven 2000 Hz waar de middentoner niet meer symmetrisch afstraalt).

In de huiskamer zijn geen betrouwbare metingen beneden 400 Hz te doen, bij gebrek aan een anechoïsche meetruimte is deze data dan ook niet getoond. Wel is de meting aangevuld met een meting vlak voor de woofer. Hierin wordt de werking van het filter duidelijk, een oplopend laag met 6 dB/oct om de akoestische kortsluiting van de dipool te compenseren. Dit gedrag resulteert in een vlakke respons op enkele meters afstand van de luidspreker.

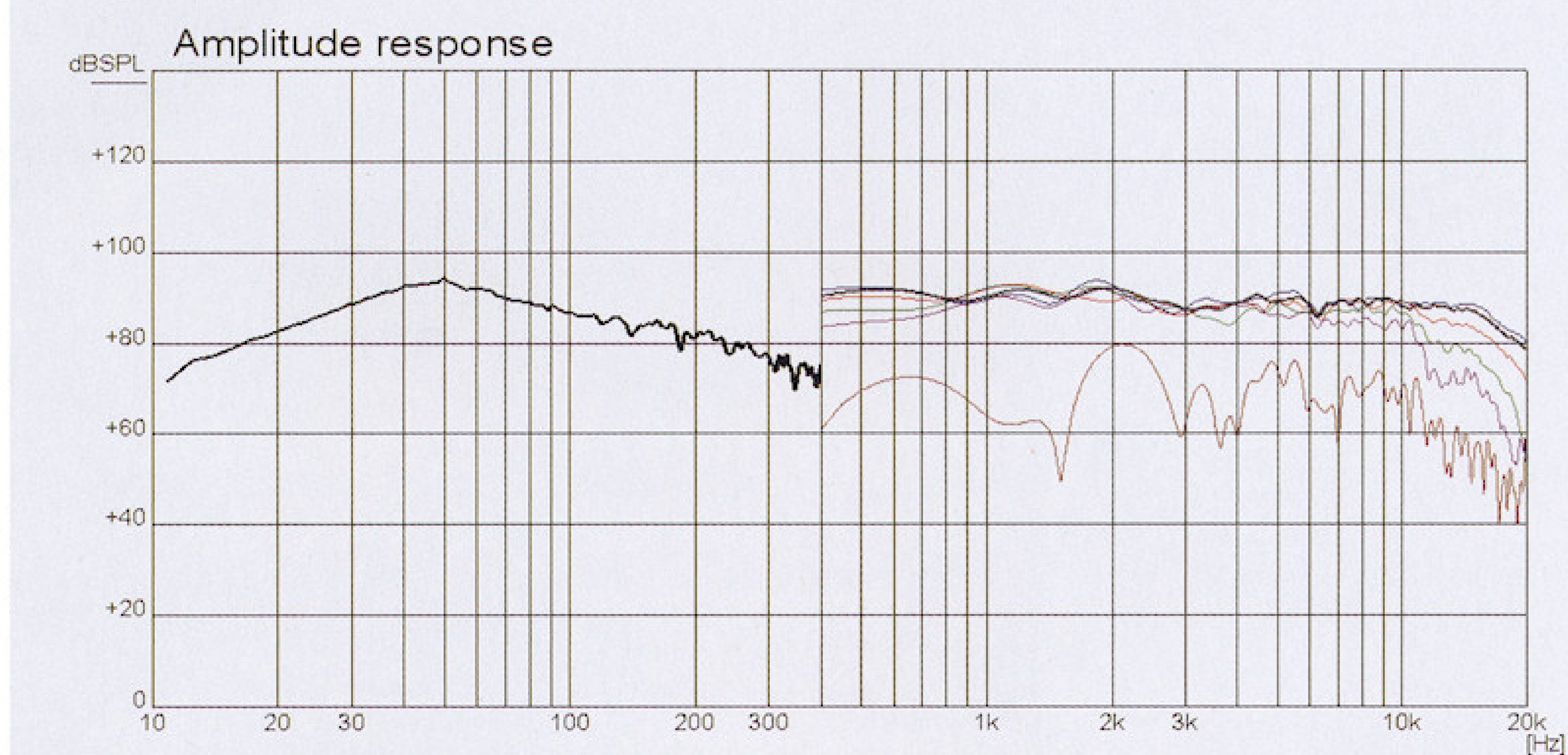
Luisteren

Het effect van het dipoolgedrag, dat bij de OB3W het volledige frequentiebereik beslaat, resulteert in een bijzonder goede waarneming van het directe geluid. Tegelijkertijd is het beeld zeer ruimtelijk, vooral bij concert en 'live' opnames ontstaat een groot driedimensionaal beeld dat volledig los staat van de luidsprekers. De waargenomen ruimtelijkheid is voornamelijk die van de opname en klinkt niet kunstmatig. Het naklinken van elk instrument, op de plek waar het door de opname wordt geplaatst, is goed hoorbaar. Het geluid klinkt dus ondanks de ruimtelijkheid niet versmeerd, alle instrumenten en stemmen staan los van elkaar en krijgen een duidelijke plek. Er komt veel detail vrij, zonder dat dit in het ontwerp gepaard hoefde te gaan met oplopend hoog of 'voicing' in het middengebied. De tonale balans is zeer evenwichtig. Op het moment dat de aandacht op een bepaald instrument wordt gericht, kan daar gemakkelijk de hele opname naar worden geluisterd. Dit geldt vooral ook voor het laag, baslijnen zijn zeer goed te volgen. Bij het weergeven van elektrische bas heeft het laag minder 'punch' en fysieke impact dan een boxluidspreker, daar staat tegenover dat de reproductie van akoestische bas veel natuurlijker is. Harder en zachter spelen heeft niet heel veel invloed op de klank en hoeveelheid detail. Het is meer alsof de muziek dichterbij komt en het beeld steeds meer driedimensionaal wordt bij het opendraaien van de volumeknop. Kortom, het geheel staat als een huis, kan zeer subtiel weergeven maar ook op hoog geluidsniveau en er is altijd volop dynamiek aanwezig.

Om deze geluidskwaliteit te krijgen moet de OB3W minimaal een meter van de wand afstaan en de afstand tot de zijwanden niet minder dan een halve meter zijn. Dichterbij de wand klinkt het nog steeds goed, maar een dergelijke plaatsing van de luidspreker gaat ten koste van de ruimtelijkheid en detaillering. Ook kan dan enige kleuring ontstaan. Deze effecten kunnen worden beperkt door de luidspreker goed schuin ten opzichte van de wand te plaatsen, zodat het naar achteren gestraalde geluid van de luisterplek weg kaatst. Verder is de plaatsing niet kritisch, deze dipool kent niet de ernstige interferentie bij hogere frequenties zoals die bij grote paneelluidsprekers en lijnbronnen aanwezig is.

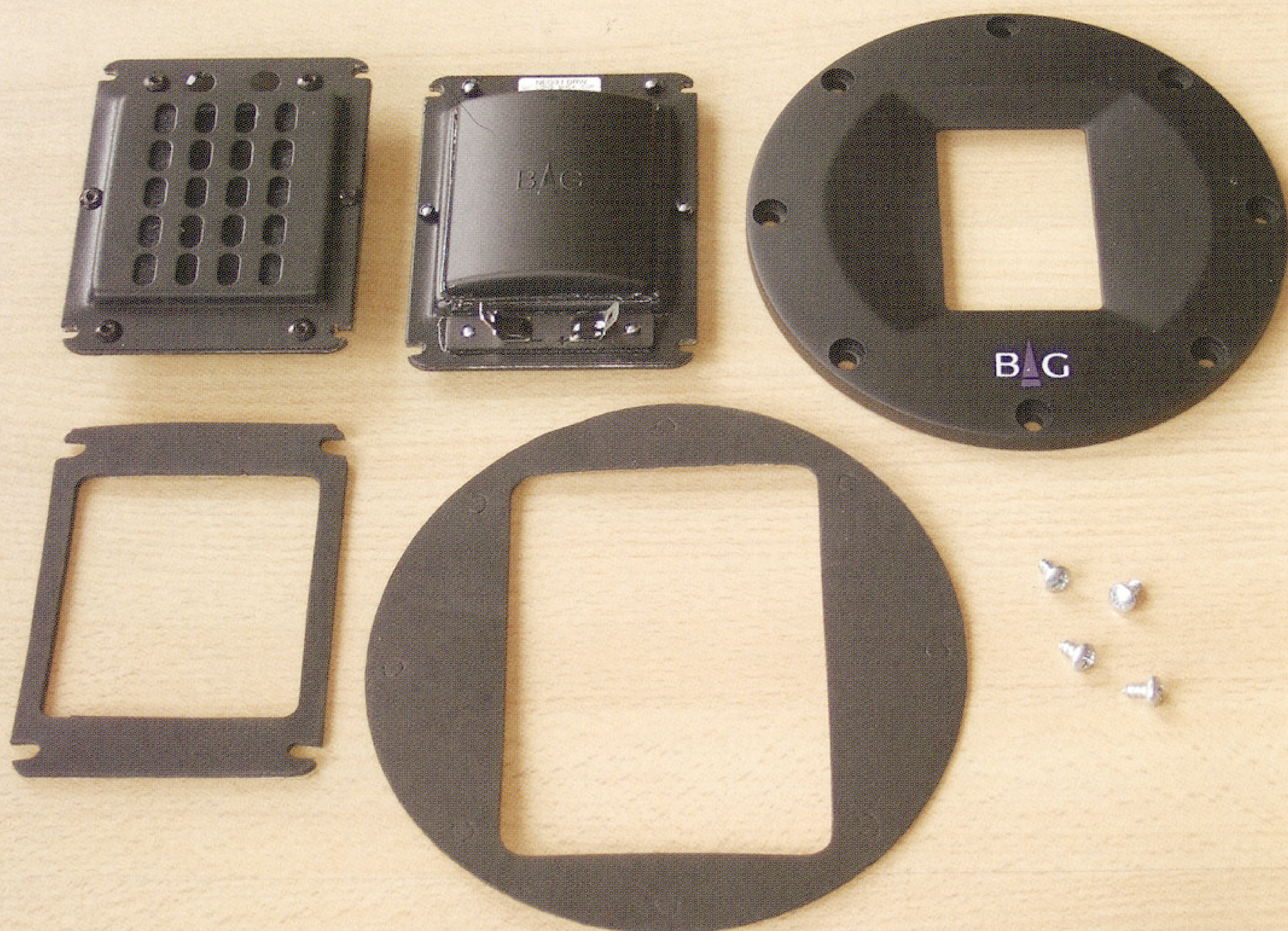


Figuur 3: **Impedantiemeting**



Figuur 4: **Meting van het afstraalgedrag (0, 15, 30, 45, 60 en 90 graden)**

Bohlender Graebener NEO3PDR tweeter.



Onderdelenlijst voor een complete set van twee luidsprekers

Luidsprekerdrivers:
4 stuks Peerless SLS-315
2 stuks Visaton AL130
2 stuks B&G NEO3PDR + flushmount faceplate

Geschatte totaalprijs: 540,- euro

Plaatmateriaal:
1 plaat multiplex hardhout 15 mm 244x122cm
2 platen MDF 18mm 122x122 cm FSC
1 plaat MDF 12mm 122x122 cm FSC

Geschatte totaalprijs: 75,- euro

Constructiemateriaal:
Diverse lijm (houtlijm, constructielijm, montagekit)
56 stuks sluitringen galv M4
56 stuks moeren galv M4
32 stuks inbusbouten zwart M4x40
24 stuks inbusbouten zwart M4x16

Geschatte totaalprijs: 40,- euro

Dempingsmateriaal:
2 matten noppenschuim 65x1000x500 mm: 20,- euro

Filtercomponenten:
2 stuks 1.40 mm Jantzen kernspoel 8,2 mH
2 stuks 1.40 mm Jantzen kernspoel 3,9 mH
4 stuks 1.00 mm Jantzen luchtspoel 0,68 mH
2 stuks 0.70 mm Jantzen luchtspoel 0,1 mH
4 stuks weerstand Mox 10 Watt 33 ohm
2 stuks weerstand Mox 10 Watt 1 ohm
2 stuks condensators ClarityCap SA 10 uF
2 stuks condensators ClarityCap PX 68 uF
2 stuks condensators ClarityCap PX 0,68 uF
2 stuks condensators ClarityCap APW 15 uF
2 stuks condensators Vishay MKP 1837 0,01 uF
2 stuks bipolaire elco 100 uF

Geschatte totaalprijs: 200,- euro

Totaalprijs twee luidsprekers: 875,- euro

Specificaties
Naam: OB3W
Ontwerp: Jeroen Dezaire
Website: http://home.wanadoo.nl/dezaire
Email: dezaire@kabelfoon.nl
Principe: 3-weg open-baffle dipool
Woofers: 2 stuks Peerless SLS-315
Middentoner: Visaton AL130
Tweeter: B&G NEO3PDR
Scheidingsfilter: 2de orde (12 dB/oct), kantelpunten 300 en 2000 Hz
Afmetingen: 1220x436x500 mm (hxbxd)
Rendement: 90 dB/2,83V/1m
Belastbaarheid bij 50Hz: 85 Watt voor 106 dB geluidsdruk per kanaal op 1 meter
Totaalprijs twee complete luidsprekers: 875,- euro (zonder lak en/of fineer)

1685a
Compacte tweeweg vloerstaander



DOOR LOUIS TIMMERS

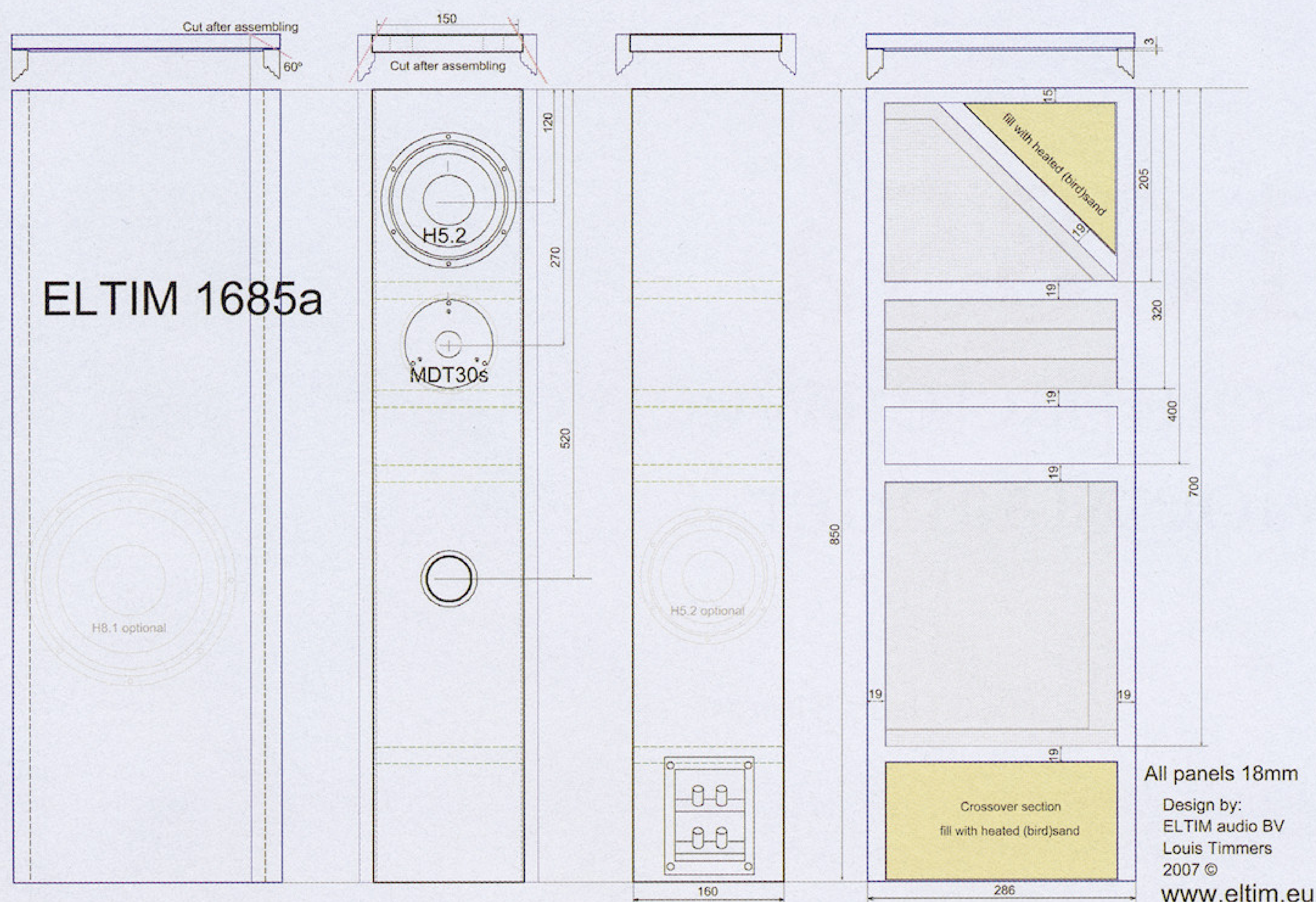
De ontwerper van deze tweeweg luidspreker liep al langere tijd rond met het idee de weinig populaire H5.2 13 cm midwoofer uit het Morel assortiment te gebruiken voor een smal vloerstaand ontwerp. Ondanks de kleine midwoofer wordt nagenoeg het volle frequentiebereik gehaald en zal met name de diepte en kwaliteit van de laagweergave velen verbazen.

De eerste gedachten
Bij Eltim Audio, de importeur van Morel drivers, liep men al enkele jaren rond met het idee de in de zelfbouw markt amper gebruikte H5.2 13 cm midwoofer toe te passen in een ontwerp, niet in de laatste plaats door de zeer steile en correcte afval, waardoor er een eerste orde filter toegepast zou kunnen worden. Zowel het diepe laagbereik als de nette afval in het hoog van de woofer bij pakweg 3 kHz met circa 12 dB/octaaf nodigt uit tot het gebruik van deze midwoofer in een uniek ontwerp. De eerste prototypes bleken zo positief uit te vallen dat de ontwerper besloot het ontwerp verder uit te werken en het hier te beschrijven.

De 60 graden afschuining van de zijpanelen levert een positieve bijdrage aan het afstraalgedrag van dit systeem. Een totale hoogte van 85 cm zou de luidspreker qua formaat ook nog net acceptabel voor eventuele huisgenoten maken. Het hier beschreven ontwerp functioneert in een zogenaamde 'extended bass' configuratie, het kastvolume is hierbij circa 30% groter dan berekend voor de meest optimale belastbaarheid. Enerzijds laat de gebruikte Morel woofer deze extra thermische en mechanische belasting probleemloos toe. Anderzijds werd het zo mogelijk gemaakt er eventueel een drieweg systeem van te maken. Ook de typische demping draagt bij aan het goed gecontroleerde laag.

De drivers
In tegenstelling tot de regelmatig gebruikte H5.1 met DPC conus is de toegepaste H5.2 midwoofer vrijwel onbekend. Echter de ontwerper is van mening dat deze woofer meer aandacht verdient vanwege de fraaie weergave van stemmen en akoestische instrumenten. Het prima impulsgedrag in combinatie met een simpel 6 dB filter draagt hieraan ook bij. In tegenstelling tot de meeste Morel (mid)woofers wordt hier geen DPC (Damped Polymer Cone) conus, maar een met de hand gecoate papieren conus gebruikt. Alleen de MW-164 en MW-266 maken ook gebruik van een dergelijke gecoate papieren conus. Wellicht dat de inverted dome debet is aan het typische, bijna perfecte afval in het hoog (zie grafiek).

De aandrijving geschiedt met een kleinere Hexatech spreekspoel dan we van Morel gewend zijn, namelijk 54 mm in plaats van 75 mm. Ten koste van een stukje belastbaarheid (150 W in plaats van 200 Wrms) wordt de bewegende massa echter wel een stuk lager. Er worden twee verschillende magneten toegepast die binnenin de spreekspoel zijn gemonteerd. Morel noemt dit EVC (External Voice Coil). Een neodymium magneet verzorgt



Buitenmaten van de kast

het magnetisch veld en wordt geassisteerd door een kleine ferriet magneet die slechts tot taak heeft het magneetveld in de luchtspleet te optimaliseren. Op deze wijze is het veld boven en onder de luchtspleet symmetrisch in tegenstelling tot het gebruik van slechts één magneet. De combinatie van magneten heeft deze serie de naam Hybrid gegeven, herkenbaar aan de H in het typenummer. Via een flinke opening in de magneten wordt het volume binnen de spreekspoel geventileerd en wordt er tevens een luchtstroming langs de spreekspoel gevormd, welke deze sterk afkoelt bij hoge belasting. Vanwege de holle stofkap heeft de conus een concaaf uiterlijk. Het akoestisch middelpunt ligt daardoor iets naar binnen, zodat de woofer boven de tweeter gemonteerd kan worden om zodoende een iets naar boven gericht klankbeeld te creëren. In de bouwtekening zien we terug waarom dit een wens was. Middels een schuin vlak achter de woofer wordt de geluidsdruk in verticale richting verplaatst en daar op eigenzinnige wijze gedempt. De vorm van de conus veroorzaakt een hoogafval volgens het boekje en loopt vrijwel lineair af met ca. 12 dB per octaaf, iets wat we prima kunnen gebruiken bij het filteren.

De Morel MDT-30s tweeter wordt veelvuldig gebruikt in commerciële luidsprekers van naam en faam. Velen verwarren deze driver met die van een ander merk, die evenwel herkenbaar is aan de vier montagegaten. Ook wordt deze tweeter in diverse zelfbouw ontwerpen toegepast. De MDT-30s (behalve de diameter identiek aan de MDT-32s) is zeer eenvoudig te filteren vanwege een frequentiekarakteristiek zonder noemenswaardige pieken en dalen in de flanken. De 28 mm Hexatech aluminium spreekspoel laat, ook onder hoge belasting, een filterhelling toe van slechts 6 dB/octaaf, zelfs met een kantelpunt vanaf ca. 2 kHz. Via de doorboorde poolkern worden reflecties in de met wol gevulde kamer optimaal gedempt. Ook is een ringvormige demping direct achter de dome te zien. Van opbreken bij vooral zeer hoge frequenties en/of volumes is geen sprake vanwege de Acuflex coating op de 28 mm zijden softdome.

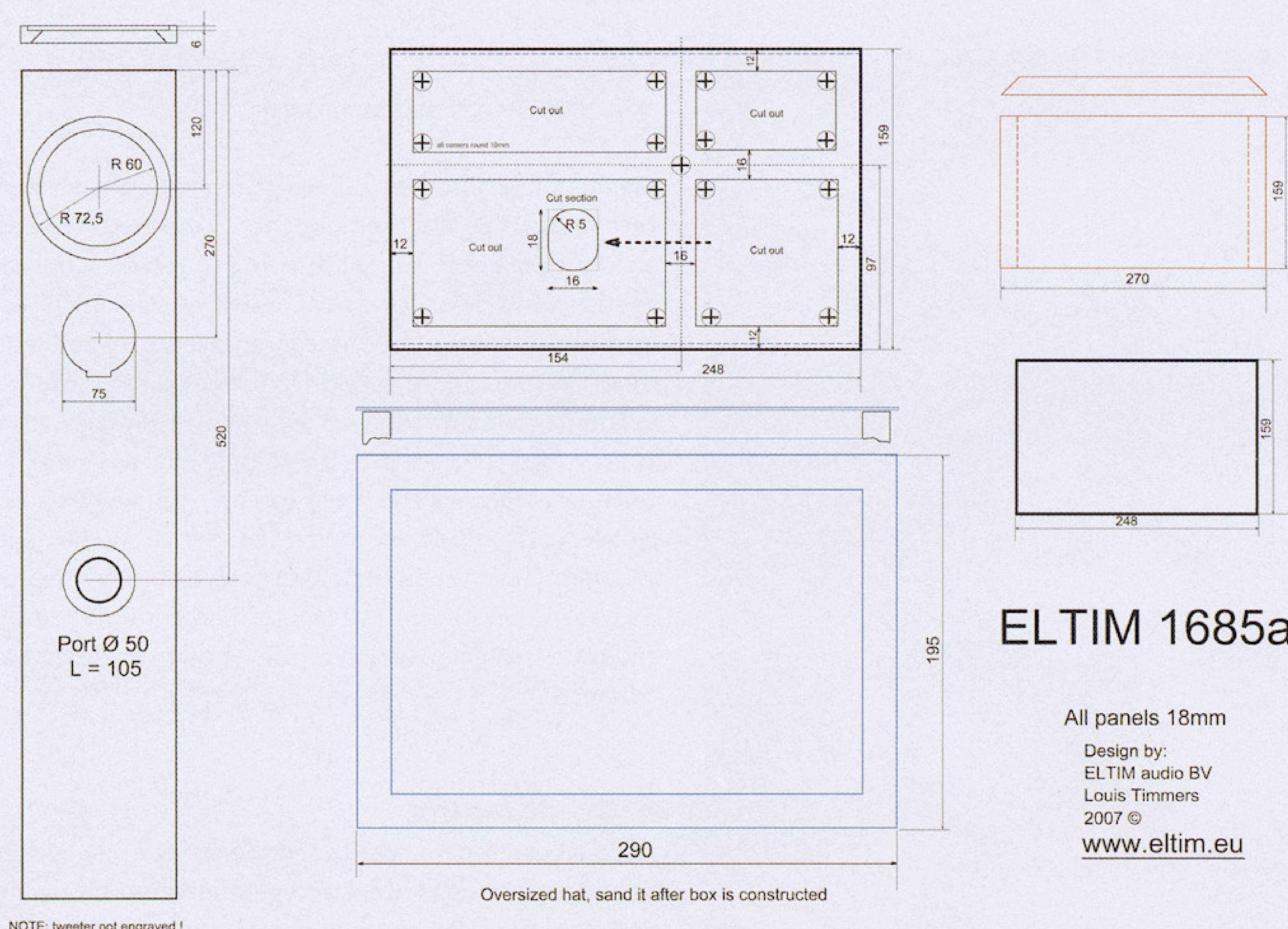
Het scheidingsfilter

Indien het kantelpunt tussen midwoofer en tweeter rond 3 kHz gekozen wordt kan er optimaal gebruik worden gemaakt van het fraaie afvalgedrag van de woo-

Morel drivers voor de 1685a







Detail panelen binnenkant kast

fer. Zodoende komen we uit op een akoestische afval van tenminste 18 dB/octaaf met behoud van het fraaie impulsgedrag van een 6 dB filter. Deze taak wordt uitgevoerd door L1. Het akoestisch –3 dB punt ligt nu op circa 2,7 kHz. Om het fraaie fase- en impulsgedrag van het 6 dB filter niet te verstoren dient deze eigenlijk Ohms belast te worden. De vrij grote spreekspoel veroorzaakt al vrij vroeg een lichte toename van de impedantie wat door het eenvoudige correctienetwerk C1,R1 gecorrigeerd wordt naar een vrijwel ohmse belasting.

Om eenzelfde akoestische filterhelling voor de tweeter te creëren bleek er een hogere orde filter nodig te zijn. De tweeter loopt te diep door om in dit ontwerp met een 1^e^ of 2^e^ orde filter te kunnen volstaan. Na veelvuldig experimenteren bleek een 18 dB/octaaf filter de meest bevredigende resultaten te geven met een afstemming die iets lager ligt dan het laagdoorlaat filter. Na veelvuldig luisteren ontstond het beschreven filter bestaande uit C2,C3,L2,C4,C5 en komt het –3 dB punt uit op ca. 2,7 kHz. Middels R2,R3,R4 wordt het rendement van de tweeter op hetzelfde niveau als de midwoofer gebracht. Om de systeem impedantie vrijwel constant te houden is er ook hier een correctienetwerk geplaatst middels C6,R5.

Voor de spoelen worden bij voorkeur zogenaamde 'Backlack' spoelen gebruikt, waarbij het draad omgeven is door een taai klevende laklaag. Na het wikkelen hard deze stof uit en is er een massieve spoel ontstaan die nagenoeg geen microfonie effecten kent. L1 is zelfs een spoel die is opgebouwd uit een zevental kernen van 0,60 mm (effectief 1,9 mm^2). De nieuwe RXF condensatoren van Mundorf in de hoogsectie hebben veel voordelen ten opzichte van de standaard MKP uitvoeringen. Met name de rigide constructie ter reductie van microfonie effecten valt hier op. Door het grotere contactoppervlak met de poolplaten is ook de ESR fors lager ten opzichte van standaard MKP condensatoren. Alle weerstanden zijn inductie vrije metaalfilm exemplaren.

Het kastontwerp

Het stond de ontwerper voor ogen een zeer smal en vrij laag ontwerp te maken wat niet opvallend in het interieur aanwezig zou zijn. De kast is dermate smal dat er slechts 7 mm links en rechts van het woofer chassis resteert. De 45 graden afschuining aan de achterzijde van de woofer opening maakt het frontpaneel nogal kwetsbaar. Daarom kunt u het beste de zijpanelen pas afschuinen als de kast verlijmd is. Als maximale kasthoogte werd circa 85 cm als acceptabel gehanteerd. De lage opstelling van de tweeter wordt zeer efficiënt gecompenseerd door deze op in plaats van in het frontpaneel te schroeven. De gemiddelde akoestische afstraling wordt zo iets naar boven gericht.

In het prototype bleek al dat door een zorgvuldig berekende afstand tussen de schotten, opvallend weinig paneelresonantie was, zeker voor een zuilvormig ontwerp en dat vrij weinig dempingmateriaal gebruikt hoefde te worden. Zowel de breedte/diepte als ook de onderlinge afstanden van de woofer, tweeter en poort in combinatie met de posities van de tussenschotten hebben een wiskundig verband waardoor de natuurlijke demping optimaal is. Er is nagenoeg geen onderlinge afstand gelijk, zodat per paneeldeel andere resonanties worden gegenereerd. Dit resulteert in een hoeveelheid zeer kleine kastkleuringen met diverse frequenties in plaats van de som van een aantal met dezelfde frequenties bij kastdelen met gelijke onderlinge afstanden. Omdat de kastenergie zo over een breder frequentiegebied wordt uitgesmeerd met een veel lager volume valt het ook veel

Materiaal lijst:

L1	0,39 mH LL60 (1,9mm)
L2	0,33 mH BL100 (1,0mm)
C1	10 uF MKT
C2	4,7 uF RXF
C3	0,82 uF Mcap ZN
C4	15 uF RXF
C5	1,5 uF McapZN
C6	1,2 uF MKT
R1	6,8-Ohm MR5
R2	3,9-Ohm MR9
R3,R4, R5	15-Ohm MR5
LS1	Morel H5.2
LS2	Morel MDT-30s
Poort	PVC Ø 50mm, 105mm lang
Demping	Dacron 270x700x4mm
	Dacron 248x153x4mm, 3 stuks
	Dacron 270x153x2mm
	Dacron 248x153x2mm
	Dacron 220x180x2mm, 2 stuks
Terminal	Mundorf term122
Zand	Puik schelpenzand ca. 13kg.
Houtpakket	Eltim 1685a

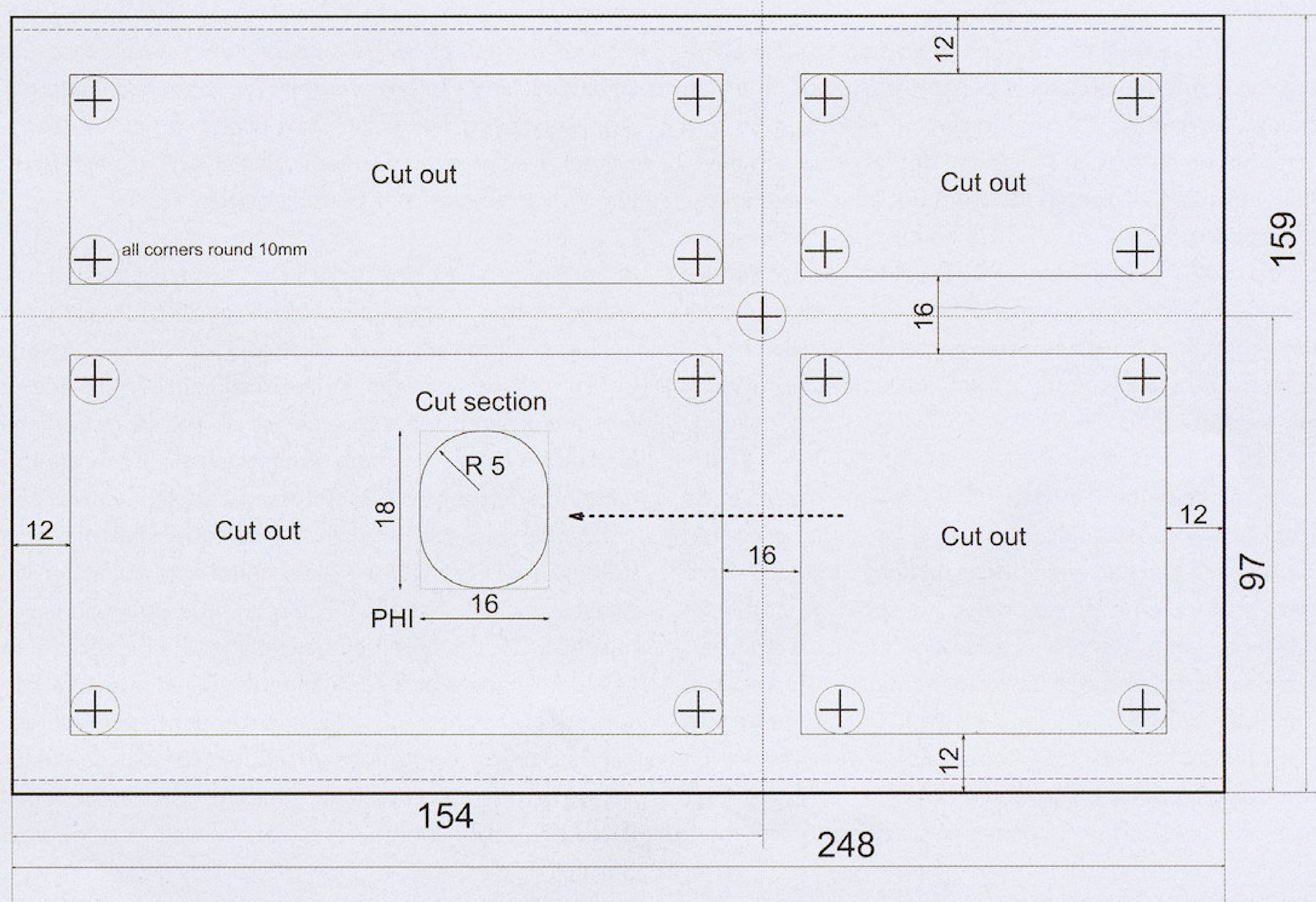
minder op en is dus veel minder storend. Het schuin geplaatste schot achter de woofer verplaatst de energie in verticale richting waar het afdoende en op eigenzinnige wijze gedempt wordt. Eventueel kunt u de onbenutte ruimte achter dit schot opvullen met fijn, droog schelpenzand uit de dierenspeciaalzaak.

Geheel onderin is een ruimte gereserveerd waarin de terminals en de filtercomponenten te plaatsen zijn. Er is zelfs ruim voldoende plaats om het geheel actief aan te sturen. Via de onderzijde kunt u er gemakkelijk bij om de componenten te monteren en eventueel zelf later modificaties aan te brengen. Ook deze ruimte is eventueel met schelpenzand te vullen, zodat er gewicht wordt toegevoegd en bovendien microfonie effecten in het filter nog verder gereduceerd worden. Vanwege de erg smalle vorm en de vorm van het chassis verdient de woofer opening in de baffle wat extra aandacht. Middels een 45graden frees met koplagertje dient u de achterzijde af te schuinen, waardoor de woofer veel beter kan 'ademen'.

De demping

In de meeste ontwerpen wordt de energie aan de achterzijde tegen de achterwand gereflecteerd en slechts gedeeltelijk gedempt. Een meestal te groot aandeel wordt via de conus alsnog vertraagd naar buiten gedirigeerd met alle vervelende bijverschijnselen (interferentie) van dien. In dit ontwerp wordt door een schuin paneel de energie grotendeels in verticale richting verplaatst, waarna voornamelijk het lage midrange bereik in een horizontaal liggende mat van 12 cm dik Dacron (3x4 cm) wordt gedempt. Op deze wijze worden zeer lage frequenties probleemloos en vertragingsvrij doorgelaten, zodat voor deze frequenties het volledige volume wordt 'gezien'. Uit de basreflexpoort zijn dan ook vrijwel geen hogere tonen hoorbaar. Rondom de poort wordt een eveneens 4 cm dikke Dacron mat in U-vorm langs de zij- en achterwand geplaatst. Verder zijn er slechts wat aanvullende, verlijmbare 2 cm dikke Dacron

Detail ribben binnenkant kast



matjes rond en achter de woofer en op de bodem gelijmd. Overigens zijn gaten voor de kabels prima met een hete soldeerbout te maken. Gebruik een tussenpaneel als mal voor het bepalen van de juiste positie van de twee gaten.

Luisterervaringen

Er is vele uren bewust en onbewust naar de Eltim 1685a geluisterd, zowel tijdens dagelijks gebruik als op momenten dat echt alles even aan de kant werd gezet. Opvallend is de ingetogen detaillering, plaatsing net boven en achter de behuizing en de zeer fraaie, diepe en neutrale laagweergave. Ondanks dat het een basreflex systeem met een kleine woofer betreft, wordt het laag op een prachtige wijze gebracht en toverde het regelmatig een glimlach tevoorschijn op het gezicht van de ontwerper. Het beoogde doel werd overtuigend behaald. De luidspreker laat de klankkleur en definitie van alle instrumenten feilloos horen. De ruimtelijkheid is bovengemiddeld te noemen. Het totale klankbeeld blijft op elk volume keurig intact en laat de speaker groter klinken dan het in werkelijkheid is. Zelfs bij belasting hoger dan de opgegeven rms waarde blijft de luidspreker feilloos werken. De behuizing is door de aparte demping dus efficiënt gecompenseerd ofwel is de opgegeven waarde aan de voorzichtige kant geformuleerd.

Na enig schuifwerk zal het systeem een mooi diep beeld achter en boven de speakers neerzetten. Wij kwamen uit op een opstelling waarbij de speakers nagenoeg evenwijdig aan de muren stonden, in een gelijkvormige driehoek met de luisterpositie waarbij het 'brandpunt' dus flink achter de hotspot ligt. Ook buiten de ideale luisterpositie blijkt het klankbeeld weinig te verplaatsen, zodat ook huisgenoten goed kunnen meegenieten, bijvoorbeeld tijdens het luisteren naar radio en TV/DVD.

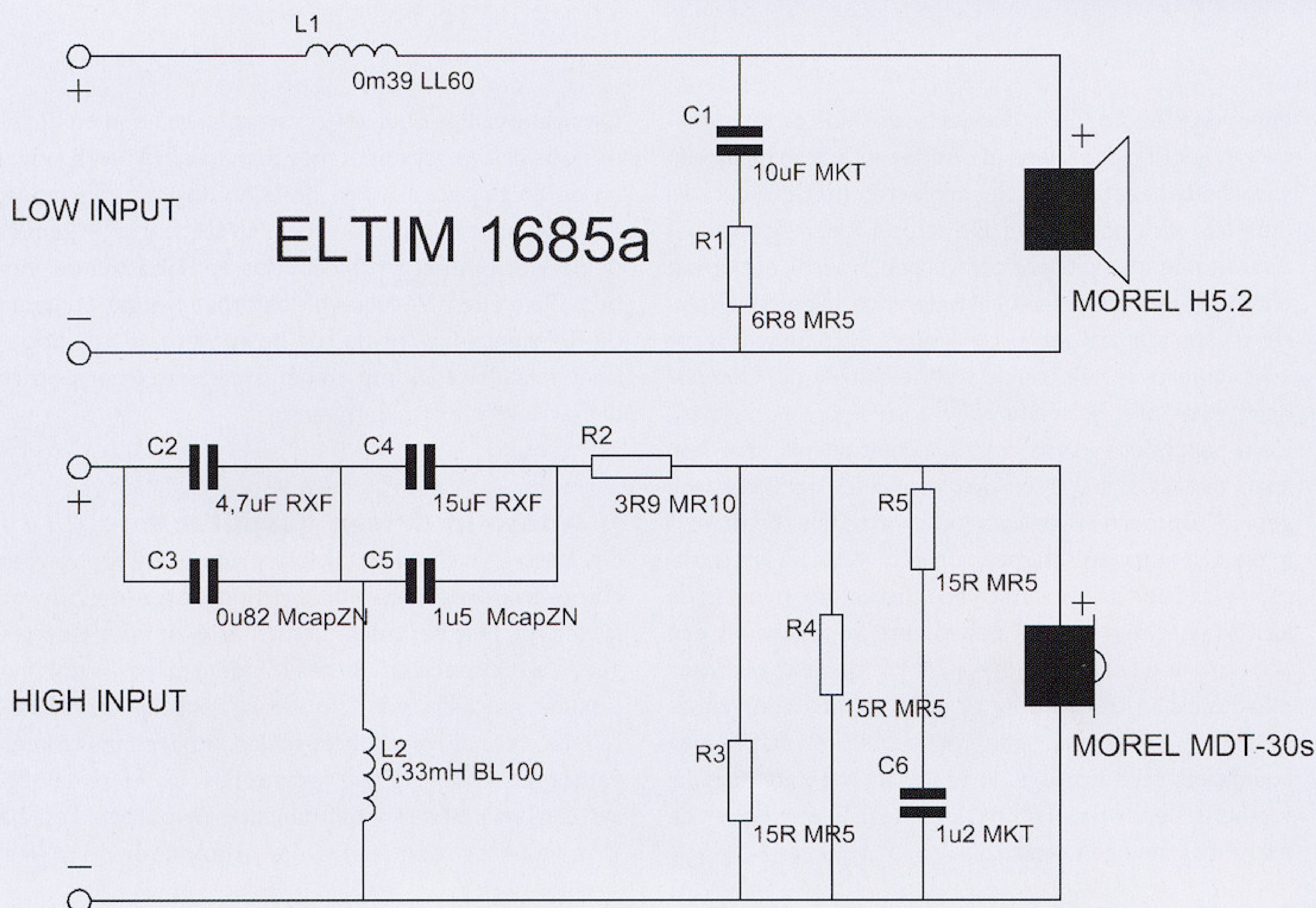


Gegevens:

Naam:	Eltim 1685a
Principe:	Tweeweg (extended) basreflex
Woofer:	Morel H5.2
Tweeter:	Morel MDT-30s
Filter:	6/18 dB 2700 Hz
Belastbaarheid:	150 Wrms (500 W Ims)
Rendement:	88 dB/1W/1m
Inhoud:	22 liter
Afmetingen:	85x19x28,5 cm
Ontwerp:	Louis Timmers
Firma:	ELTIM audio BV
Website:	http://www.eltim.eu
Email:	info@eltim.eu

Kosten:

Drivers	158,- euro
Componenten	ca. 70,- euro
Houtpakket	89,- euro
Diversen	ca. 35,- euro



1685a scheidingsfilter



ScanSpeak Vertigo

Duizelingwekkend mooi driewegsysteem

DOOR ROLPH SMULDERS

De kans bestaat dat u na het beluisteren van de nieuwe ScanSpeak Vertigo lichtelijk uit uw evenwicht raakt, net zoals de hoofdpersoon in de gelijknamige film van Hitchcock. Dat wordt in dit geval echter niet veroorzaakt door hoogtevrees of het schuin achterover hellende ontwerp van de kast, maar door de uitzonderlijk goede klankkwaliteiten van dit evenwichtige driewegsysteem met zijn aparte vormgeving.

Importeur Audio Components heeft sinds de introductie van het inmiddels legendarische merk ScanSpeak een respectabel aantal zelfbouwprojecten met drivers van deze fabrikant ontworpen. De actuele Reference-lijn bestaat momenteel uit acht ontwerpen, waarbij het opvalt dat de grotere modellen Mini Reference, Ultimo en Reference Plus allemaal gebruik maken van een behuizing die licht achterover helt (zie de website van Audio Components voor meer details, http://www.audiocomponents.nl). Zo'n bijzondere kastvorm zorgt niet alleen voor een apart uiterlijk, maar heeft ook voordelen op akoestisch gebied. Op deze wijze komen de verschillende drivers in de kast automatisch meer op één verticale lijn te zitten, waardoor de faseverschillen tussen de drivers in de kast kleiner zijn dan bij een rechte voorkant en een accuratere weergave mogelijk is zonder dat hiervoor elektronische trucs nodig zijn. De constructie van de behuizing is weliswaar een stuk moeilijker dan bij een standaard rechthoekige kast, maar het uiteindelijke (esthetische en akoestische) resultaat is zeer zeker de extra inspanningen waard.

Ditmaal was het doel het ontwerpen van een compromisloos driewegsysteem met ScanSpeak-drivers, waarbij de enige beperking in de behuizing zat: die moest namelijk niet te groot worden, zodat ze in elke gemiddelde woonkamer probleemloos een plaatsje kan vinden. De nieuwe Vertigo vult daarmee het gat op dat in de Reference-lijn tot nu toe bestond tussen de populaire betaalbare Ultimo en het excellente maar prijzige half-actieve Maxima-ontwerp.

Audio in drieën gesplitst

De laatste jaren is er bij luidsprekerontwerpers een sterke trend merkbaar in de richting van 2- en 2,5-weg systemen. Het basisidee hierachter is om het weergegeven audiospectrum in het middengebied - waar het oor het gevoeligste is - zo weinig mogelijk aan te tasten door één driver dit hele gebied in zijn eentje te laten verzorgen. Dat resulteert gewoonlijk in een tweewegsysteem waarbij de kantelfrequentie bijvoorbeeld op 2,5 kHz ligt. Aangezien zo'n tweewegbox door de relatief



Figuur 1.
De drie losse drivers, voor- en achterzijde.

kleine afmetingen van de bas/middentoner niet zo sterk is in de laagreproductie, wordt zo'n box dikwijls uitgebreid met een extra woofer die het gedeelte onder pakweg 100 Hz voor zijn rekening neemt.
Maar ieder voordeel heeft ook zijn nadeel. Weliswaar ontbreken bij een tweewegsysteem faseverschuivende scheidingsfilters in het lage middengebied, maar de basmiddentoner moet als tegenprestatie een zeer groot deel van het audiospectrum in zijn eentje weergeven en daar is hij eigenlijk niet echt toe in staat. Hij is te groot en te zwaar om een goed impulsgedrag in het middengebied te leveren en weer te klein om echt zijn best te doen bij lage frequenties.

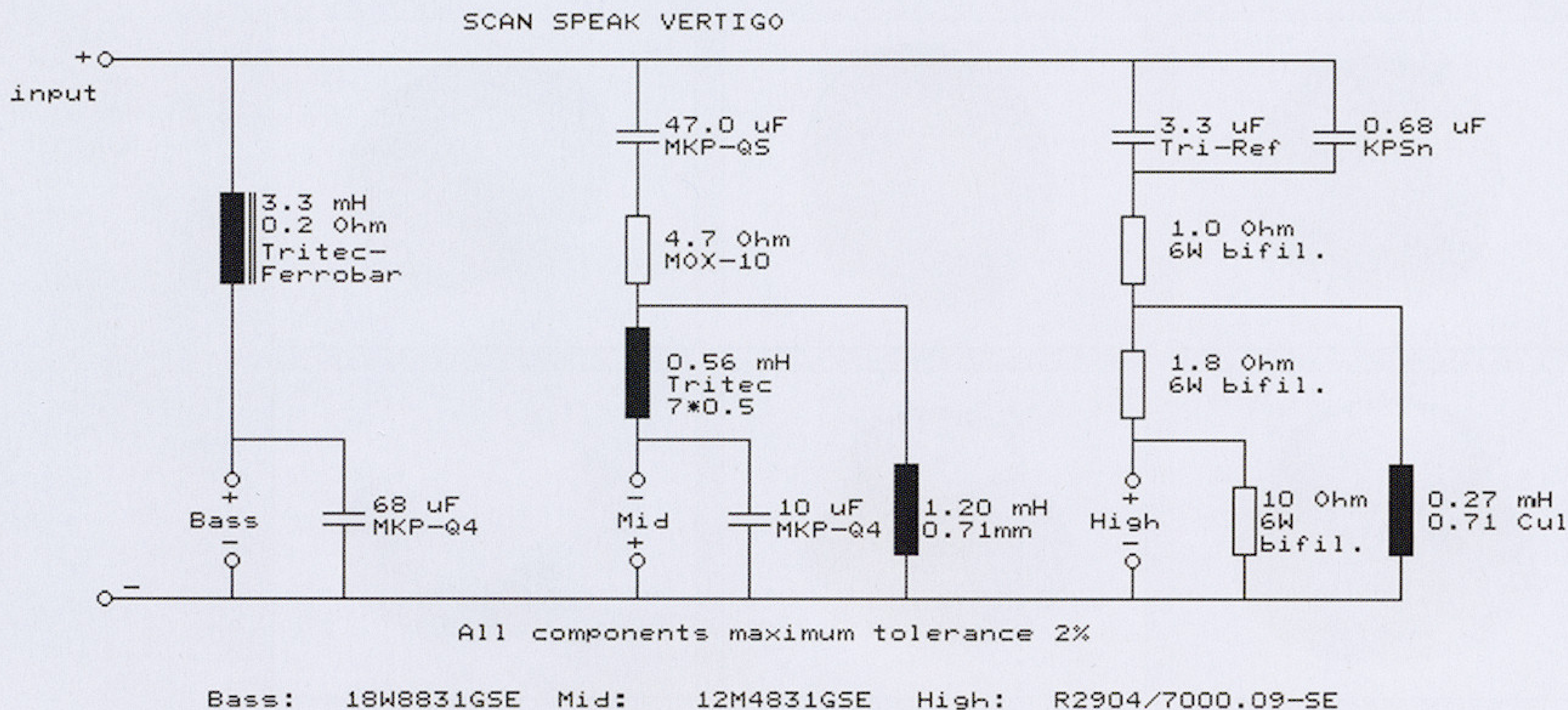
Er zijn echter nog twee andere (en zeker zo zwaarwegende) redenen waarom vaak voor een tweewegsysteem wordt gekozen: het ontwerpen van een evenwichtig tweewegsysteem is een stuk gemakkelijker dan het ontwerpen van een goed uitgebalanceerd driewegsysteem. Bovendien liggen de productiekosten van een driewegsysteem ook hoger doordat er twee extra drivers en meer filtercomponenten nodig zijn. In het geval van de Vertigo is gekozen voor een 'echt' drieweg-systeem met drie units die speciaal zijn geselecteerd om elk circa 3 octaven van het audiospectrum optimaal weer te geven. Beide filosofieën hebben beslist hun eigen voordelen en kunnen uitstekend klinken, maar in dit geval heeft ontwerper Rolph Smulders een optimaal resultaat weten te bereiken met een selectie van drie hoogwaardige units uit het ScanSpeak-repertoire. De totale kostenfactor was daarbij niet zo belangrijk, het ging vooral om het uiteindelijke resultaat.

De drivers

De hoogweergave in de Vertigo wordt verzorgd door een 1" Revelator-tweeter met het typenummer R2904/7000.09-SE. Het gaat hier om een ringradiator met de bekende pijlpunt in het midden. In tegenstelling tot normale dome-tweeters beweegt hier een soort mini-membraan van een geïmpregneerde geweven stof om de piek in het midden, waarbij een golfbeweging in het membraantje zorgt voor de luchtverplaatsingen. In tegenstelling tot een dome heeft dit type tweeter nauwelijks last van opbreekverschijnselen en een uitstekend afstraalgedrag. Het ringradiator-principe is erg bekend geworden door de Vifa-tweeters die in veel succesvolle commerciële ontwerpen zijn toegepast. Deze ScanSpeak-versie is een geoptimaliseerde handmade versie hiervan. Aan de achterzijde bevinden zich drie uitstulpende kamertjes die samen met drie gaten in het magneetsysteem voor een optimale luchtverplaatsing aan de achterzijde van het membraan zorgen.

Voor de weergave van het middengebied is een krachtige 4"-middentoner gekozen, de 12M/4831GSE. Deze luidspreker is voorzien van een krachtig magneetsysteem. De conus is een zogenaamde 'sliced paper cone', een papieren conus waarin schuin lopende sleuven zijn aangebracht om breakup-verschijnselen bij hogere frequenties te minimaliseren. Deze constructie past ScanSpeak al geruime tijd bij verschillende conusluidsprekers toe en ze blijkt zeer effectief te zijn. De papieren conus wordt omringd door een vrij brede rubber rolrand. De lineaire uitslag van deze driver bedraagt ±3 mm. De resonantiefrequentie ligt voor een type van deze afmetingen vrij laag, op 75 Hz. Bij het bekijken van de meetcurve die ScanSpeak levert, valt vooral op dat er tot 2...3 kHz nauwelijks sprake is van bundeling van het afgestraalde geluid. Op de as gemeten loopt de frequentiecurve recht tot voorbij 10 kHz.

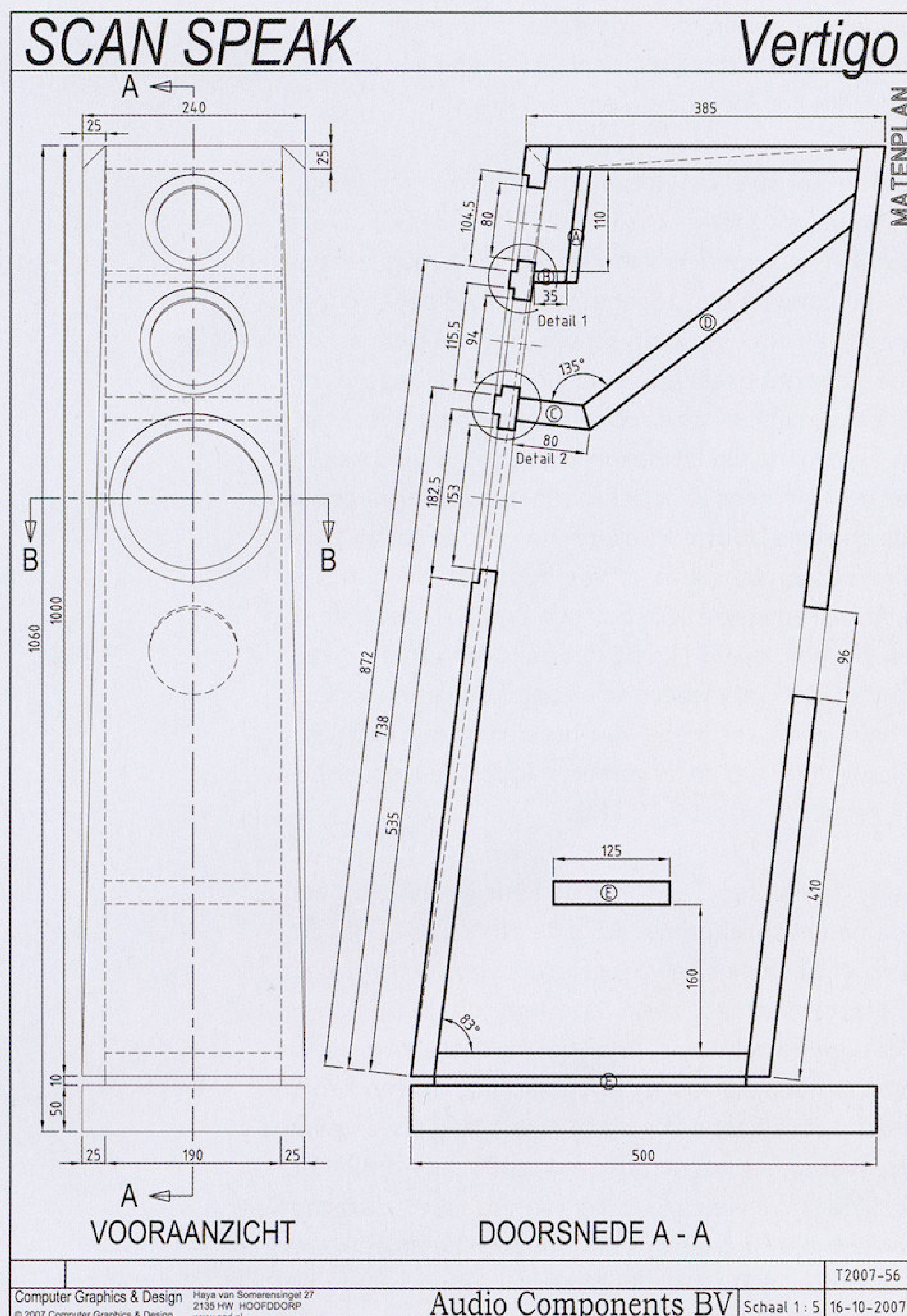
Tot slot de woofer. Daarbij is de keus gevallen op een vrij kleine luidspreker van 6,5", de 18W/8831GSE. De ontwerper heeft hier bewust gekozen voor een vrij klein exemplaar. Niet zo zeer vanwege de beschikbare breedte van de behuizing, maar omdat deze driver meer dan voldoende geluidsdruk kan leveren en bovendien in de beschikbare kast een vrijwel ideale laag-afstemming levert waarbij het laag-kantelpunt op 30 Hz (-3 dB) ligt. Dankzij de flinke lineaire uitslag van deze kleine krachtpatser (±6 mm) is deze in staat om toch behoorlijk wat geluidsdruk te maken. Liefhebbers van overmatig grote geluidsdrukken bij zeer lage frequenties kunnen beter



Figuur 2. Filterschema. Figuur 3a. Bouwtekeningen kast, vooraanzicht en doorsnede

een andere luidspreker bouwen, we richten ons met dit ontwerp op de serieuze high-end muziekgenieters.

Ook bij deze woofer vallen meteen de karakteristieke sleuven in de conus op, die zorgen voor minder breakup-verschijnselen bij hogere frequenties. Het lijkt overigens vreemd dat die sleuven niet volgens een regelmatig patroon zijn aangebracht, maar op deze wijze functioneert het volgens de ScanSpeak-ontwerpers echt het beste. Verder hoeven we over de mechanische constructie eigenlijk niets te vermelden, die is zoals we gewend zijn van ScanSpeak onberispelijk.



Strak gescheiden

Het scheidingsfilter voor de Vertigo zorgt voor een correcte frequentieverdeling en een gelijkmatig faseverloop tussen de drie drivers. De scheidingsfrequenties van het totale systeem (filter plus akoestische output van de drivers) liggen op 600 Hz en 4 kHz. Alle filterhellingen hebben een steilheid van circa 12 dB/octaaf.

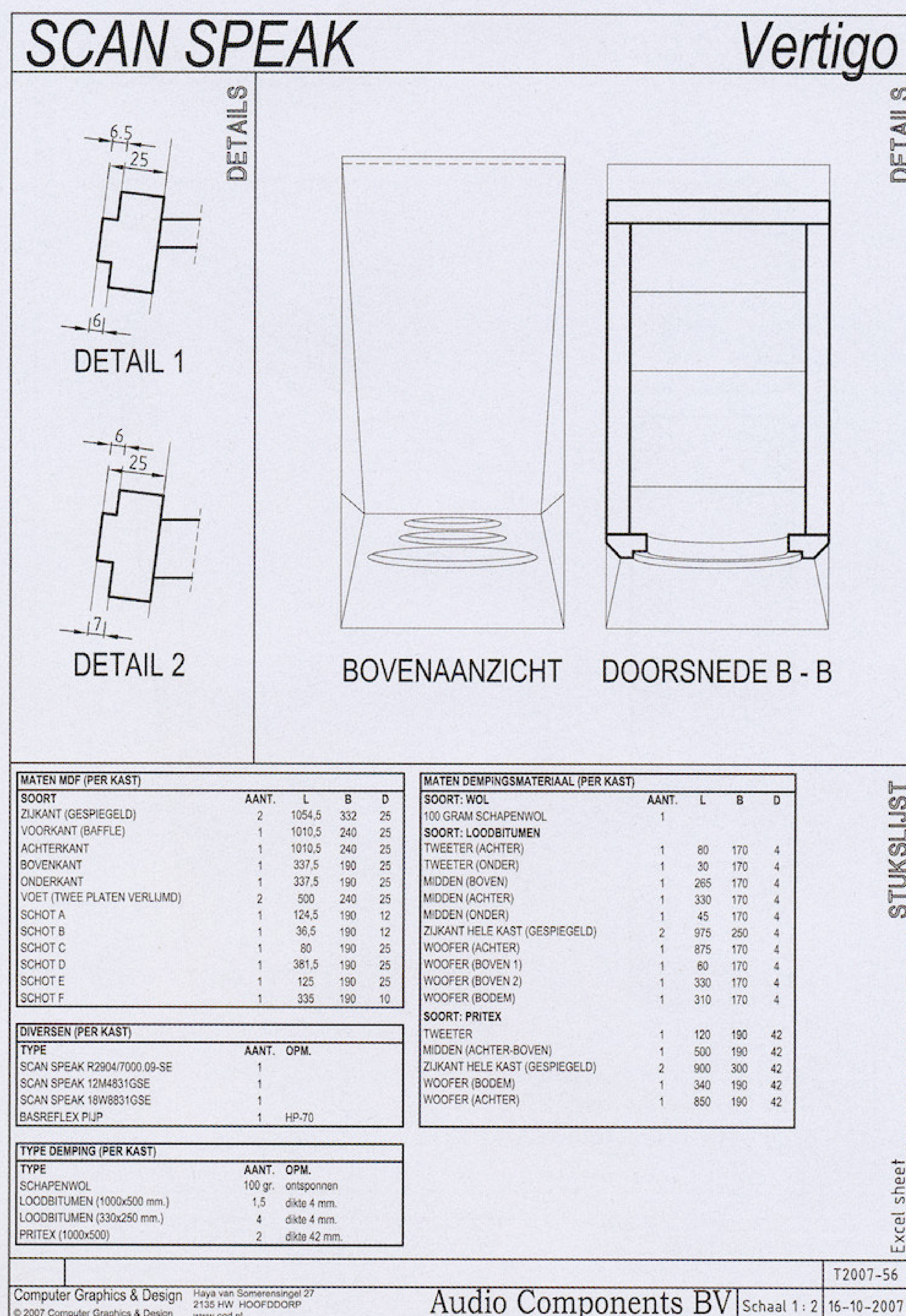
De sectie voor de woofer bestaat uit een seriespoel van 3,3 mH en een parallelcondensator van 68 mF. Bij de middensectie zorgt een hoogwaardige filmcondensator van 47 mF samen met een 1,2-mH-spoel er voor dat de middentoner pas voluit meespeelt bij frequenties boven circa 600 Hz, terwijl een spoel van 0,56 mH samen met een condensator van 10 mF als laagdoorlaatfilter op 4 kHz fungeert. De serieweerstand van 4,7 ohm verlaagt het rendement van de middentoner bijna 3 dB en zorgt er tevens voor dat de laag-filterhelling iets minder steil verloopt om een correcte fase-aansluiting tussen woofer en middentoner te verkrijgen. In het hoog zien we tenslotte een capaciteit van in totaal 3,9 mF en een zelfinductie van 0,27 mH, zodat de tweeter pas zijn werk doet bij frequenties boven 4 kHz. Het weerstandsnetwerk bestaat hier uit drie weerstanden van resp. 1, 1,8 en 10 Ohm. Deze leveren een demping van ongeveer 3 dB. Door de plaatsing van de 1-ohm-weerstand zorgt deze - net zoals de weerstand in de middensectie - tevens voor een kleine fase-aanpassing rond het overnamepunt.

Bij de hier toegepaste hoogwaardige units van ScanSpeak moeten de filtercomponenten natuurlijk van vergelijk-

bare kwaliteit zijn. Audio Components heeft in het prototype van de Vertigo producten uit het Intertechnik-programma toegepast. De zelfinductie in de bassectie is een Tritec-Ferrobar exemplaar met 7-aderig koperdraad. Deze heeft een geringe inwendige weerstand van 0,17 Ohm. Alle condensatoren zijn MKP-typen. Voor de parallel aan de luidsprekers geschakelde exemplaren (68 en 10 mF) geldt dat hiervoor 'standaard' typen (bijv. Q4) kunnen worden toegepast. Voor de seriecondensatoren is een nog betere kwaliteit zeker aan te bevelen. Voor het 47-mF-exemplaar kan bijvoorbeeld een MKP-QS worden genomen en het 3,9-mF-type kan worden samengesteld uit een 3,3-mF-Tri-Ref met daaraan parallel een 0,68-mF-KPSn. De resterende drie spoelen zijn allemaal luchtexemplaren. Voor de seriespoel van 0,56 mH voor de middentoner is een Tritec-exemplaar met 7x0,5 mm bedrading toegepast. De weerstanden zijn allemaal inductiearme typen. De serieweerstand voor de middentoner is een MOX-exemplaar van 10 W, in de tweeter-sectie zijn allemaal bifilaire weerstanden van 6 W gebruikt.

Enkele graden uit het lood

Op de foto en in de bouwtekening is goed te zien dat de hele kast (dus niet alleen de frontplaat) een beetje achterover helt, om precies te zijn 7 graden. De kast is bevestigd op een 50 mm dikke bodemplaat die aan de achterzijde nog een stukje uitsteekt, om zo extra stabiliteit aan de kast te geven. In totaal geeft dit bovendien een evenwichtiger uiterlijk dan bij een kast zonder deze bodemplaat.



MATEN MDF (PER KAST)

SOORT	AANT.	L	B	D
ZIJKANT (GESPIEGELD)	2	1054,5	332	25
VOORKANT (BAFFLE)	1	1010,5	240	25
ACHTERKANT	1	1010,5	240	25
BOVENKANT	1	337,5	190	25
ONDERKANT	1	337,5	190	25
VOET (TWEE PLATEN VERLIJMD)	2	500	240	25
SCHOT A	1	124,5	190	12
SCHOT B	1	36,5	190	12
SCHOT C	1	80	190	25
SCHOT D	1	381,5	190	25
SCHOT E	1	125	190	25
SCHOT F	1	335	190	10

DIVERSEN (PER KAST)

TYPE	AANT.	OPM.
SCAN SPEAK R2904/7000.09-SE	1	
SCAN SPEAK 12M4831GSE	1	
SCAN SPEAK 18W8831GSE	1	
BASREFLEX PIJP	1	HP-70

TYPE DEMPING (PER KAST)

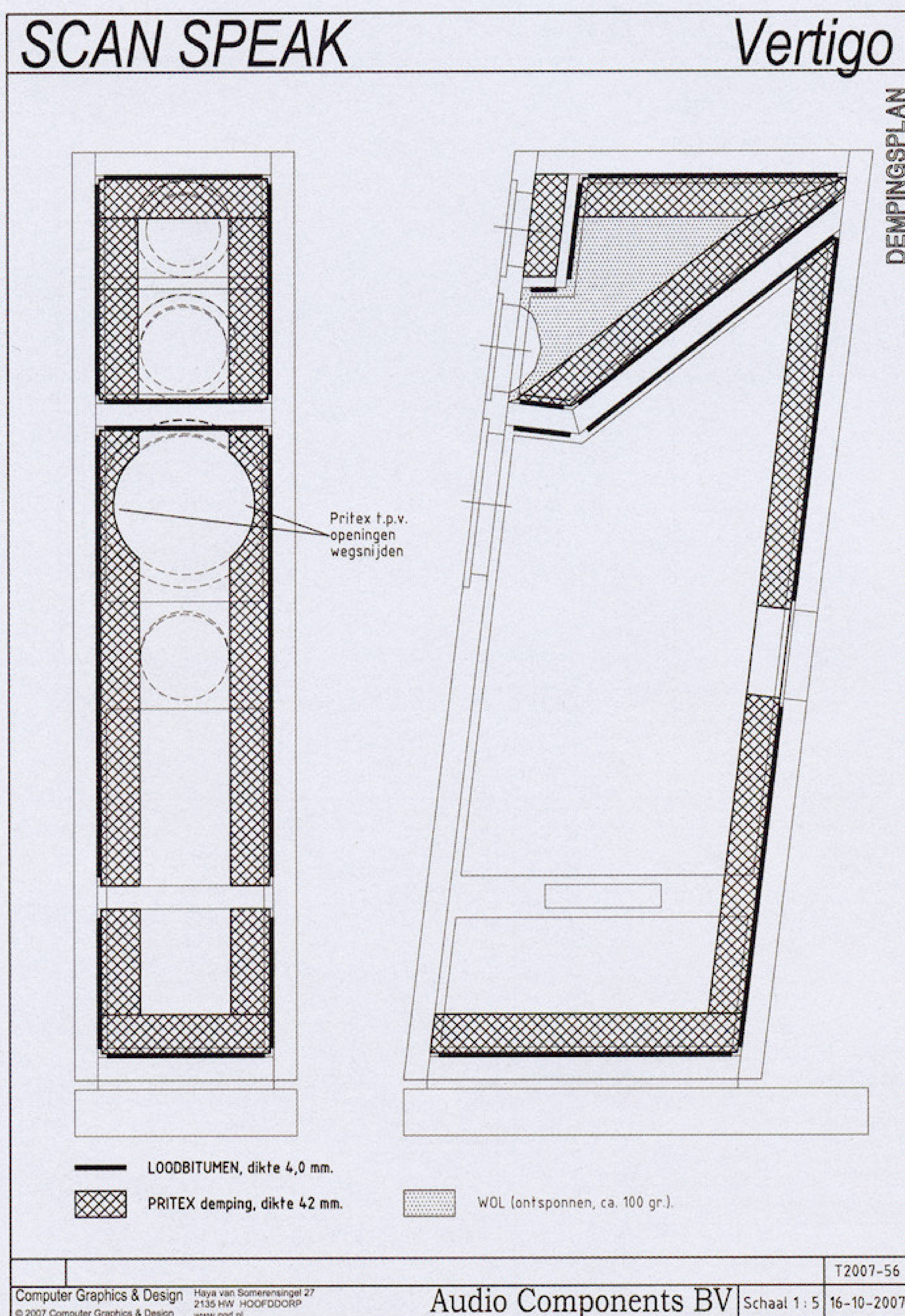
TYPE	AANT.	OPM.
SCHAPENWOL	100 gr.	ontsponnen
LOODBITUMEN (1000x500 mm.)	1,5	dikte 4 mm.
LOODBITUMEN (330x250 mm.)	4	dikte 4 mm.
PRITEX (1000x500)	2	dikte 42 mm.

MATEN DEMPINGSMATERIAAL (PER KAST)

SOORT: WOL	AANT.	L	B	D
100 GRAM SCHAPENWOL	1			
SOORT: LOODBITUMEN				
TWEETER (ACHTER)	1	80	170	4
TWEETER (ONDER)	1	30	170	4
MIDDEN (BOVEN)	1	265	170	4
MIDDEN (ACHTER)	1	330	170	4
MIDDEN (ONDER)	1	45	170	4
ZIJKANT HELE KAST (GESPIEGELD)	2	975	250	4
WOOFER (ACHTER)	1	875	170	4
WOOFER (BOVEN 1)	1	60	170	4
WOOFER (BOVEN 2)	1	330	170	4
WOOFER (BODEM)	1	310	170	4
SOORT: PRITEX				
TWEETER	1	120	190	42
MIDDEN (ACHTER-BOVEN)	1	500	190	42
ZIJKANT HELE KAST (GESPIEGELD)	2	900	300	42
WOOFER (BODEM)	1	340	190	42
WOOFER (ACHTER)	1	850	190	42

T2007-56
Computer Graphics & Design — Haya van Somerensingel 27, 2135 HW HOOFDDORP, www.cgd.nl
© 2007 Computer Graphics & Design
Audio Components BV | Schaal 1 : 2 | 16-10-2007

Figuur 3b. Bouwtekeningen kast, bovenaanzicht en doorsnede



Figuur 3c.
Bouwtekeningen kast, bekleding kast

De bouwtekeningen en de foto laten nog enkele details zien waar men rekening mee moet houden bij de opbouw. Er zitten afgeschuinde hoeken aan zowel de frontplaat als de bovenkant, die ook nog in breedte verlopen over de hele voorhoogte en bovendiepte. Zie de foto om daarvan een goede indruk te krijgen. Op deze wijze ontstaat een voorkant die zeer smal is. In combinatie met de afgeschuinde hoeken geeft dat een uitstekend afstraalgedrag van het systeem bij hogere frequenties. Daar profiteert niet alleen de tweeter van, maar ook de middentoner.

Voor de kast wordt 25 mm dik MDF-plaat gebruikt, zodat een bijzonder stevige behuizing ontstaat. Voor de voet worden twee platen van elk 25 mm op elkaar gelijmd.
In de behuizing zitten nog enkele schotten om de tweeter en middentoner af te schermen van elkaar en van de woofer. De middentoner krijgt zo een ruimte van circa 6 liter tot zijn beschikking. De tweeter wordt door middel van twee dunne plankjes gescheiden van de middentoner, hoewel dit niet echt noodzakelijk is. Onderin de kast komt nog een verstevigingsbalk tussen de zijwanden. Door de schuin lopende constructie is het noodzakelijk dat men de verschillende panelen nauwkeurig op maat zaagt, dat bespaart een hoop aanpaswerk naderhand. De drie gaten voor de drivers worden voorzien van een verzonken rand, zodat de luidsprekers straks met hun voorzijde mooi vlak aansluiten op het voorpaneel. Vergeet ook niet de afgeschuinde zijkanten aan voor- en bovenpaneel, die dragen duidelijk bij aan een beter afstraalgedrag. Deze kunnen overigens vrij eenvoudig met een handzaag worden aangebracht nadat de kast in elkaar is gelijmd. Monteer daarvoor tijdelijk enkele metalen geleidingsstrips op de kast en begin daarlangs voorzichtig te zagen.

Voordat de binnenkant van de box wordt bekleed met loodbitumen en gevuld met dempingsmateriaal, is het verstandig om de interne bekabeling alvast aan te brengen. Het filter kan straks onderin de kast worden gemonteerd. De kabeldoorvoer voor middentoner en tweeter in het schot van het middencompartiment (en evt. ook het tweeter-compartiment) moet luchtdicht worden afgesloten. Daarna kunt u met de dempingsmaatregelen verder gaan. Eerst worden alle binnenwanden van het grote en kleine compartiment met 4 mm dik loodbitumenplaat bekleed. Daarna komt er een laag Pritex overheen (behalve het voorpaneel, dat blijft vrij). Tenslotte wordt het middencompartiment gevuld met 100 gram schapenwol.
Let bij het aansluiten van de drivers op de correcte polariteit; de middentoner wordt in tegenfase aangesloten. Tenslotte wordt aan de achterzijde de basreflexpijp geplaatst, deze heeft een lengte van 22 cm.

Meten en luisteren

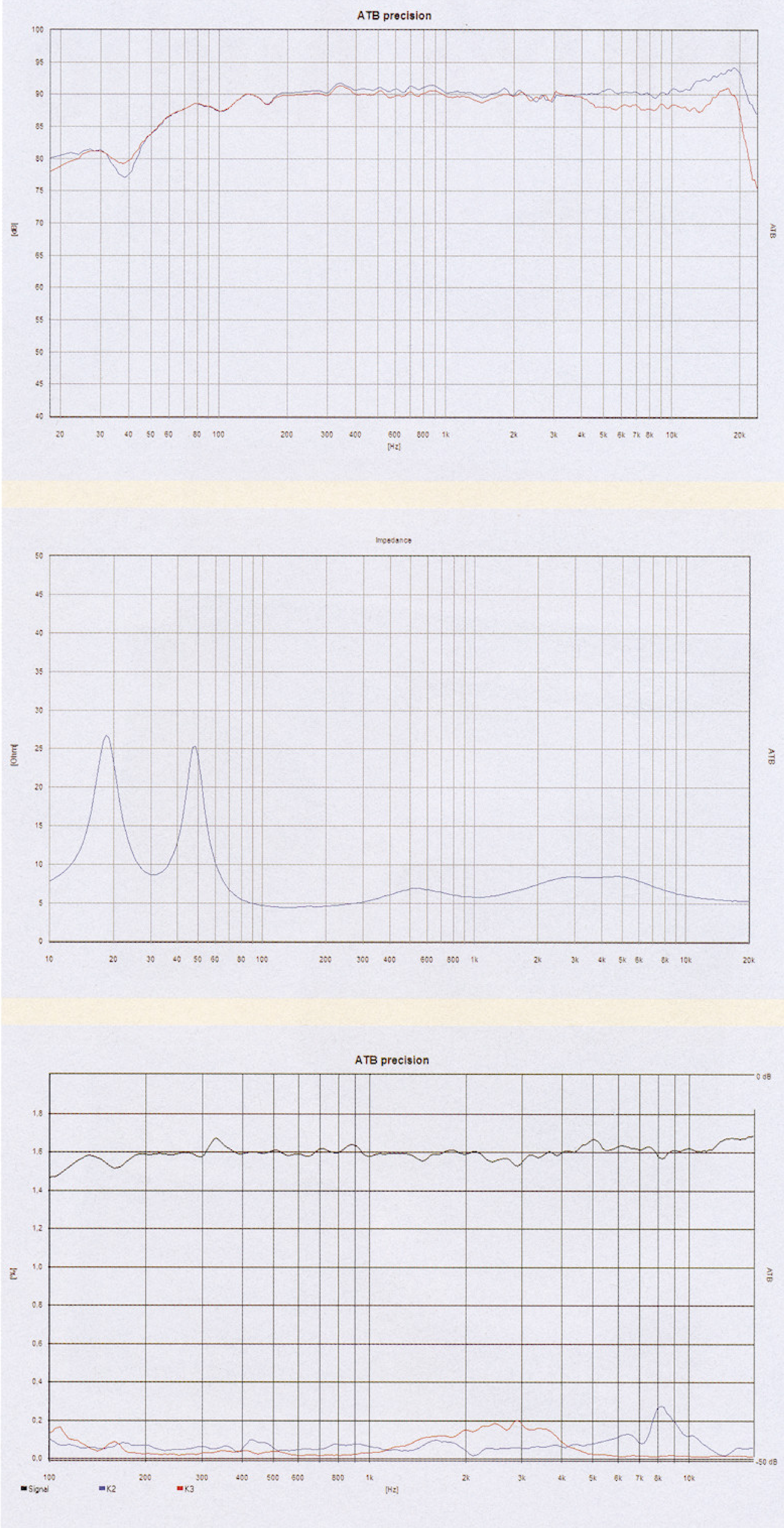
De meetgegevens van een luidsprekersysteem zeggen lang niet alles over de uiteindelijke klankkwaliteiten, maar bij het bekijken van de frequentiekarakteristiek van de Vertigo valt wel meteen op hoe rustig en ontzettend strak de frequentiekarakterstiek van dit systeem verloopt. Alleen boven 10 kHz stijgt de output van de tweeter enkele dB's, maar dat is eerder een voordeel dan een nadeel omdat je meestal toch niet precies op de as van het luidsprekersysteem zit te luisteren. De rode curve toont het verloop op 30 graden. Boven 4 kHz gaat de curve dan wat lager lopen, maar dat is slechts 2 dB. Dat wijst op een uitstekend rondstraalgedrag voor het hele systeem. In het laag zien we de output van de woofer vrij snel afnemen, maar dat wordt veroorzaakt door het feit dat in de dode kamer de bijdrage van de basreflexpoort niet wordt meegemeten. Uit het daaronder getoonde plaatje van de impedantiecurve is af te lezen dat de basreflexafstemming vrijwel precies op 30 Hz ligt. Het impedantieverloop van de Vertigo is aangenaam vlak. Afgezien van de twee resonantiepieken in het laag (onvermijdelijk bij een basreflex-afstemming) schommelt de impedantie tot 20 kHz tussen circa 4,5 en 8 Ohm. Voor de eindversterker betekent dat een vrijwel ohmse belasting waar hij geen enkele moeite tijdens het aansturen mee zal hebben. In figuur 4 is ook nog de gemeten vervorming (tweede en derde harmonische) afgebeeld. Die ligt over het hele frequentiebereik extreem laag. Alleen rond 8 kHz is een kleine uitschieter te zien van de tweeter, die overigens bij een geringer uitsturingsniveau snel verdwijnt.

Na al deze technische details kunnen we eindelijk ook gaan luisteren naar de Vertigo. Ter vergelijking is deze voor de luistertest opgesteld naast een aantal tweeweg-systemen van vergelijkbare afmetingen. Wat het eerste opvalt bij het beluisteren van muziek is de directheid waarmee stemmen worden weergegeven. Bij het omschakelen tussen de Vertigo en de Ultimo, een systeem dat toch bekend staat om zijn goede, klankneutrale eigenschappen, lijken de zangers en zangeressen door de Vertigo een stuk dichter bij de luisteraar te worden neergezet, terwijl ze bij de Ultimo meer naar de achtergrond worden geschoven. Dat verschijnsel wordt zeker niet veroorzaakt door een overijverige middentoner, maar veeleer door de veel grotere definitie die de Vertigo in het middengebied levert.

Maar niet alleen bij zang zijn er verschillen hoorbaar. Bij elk soort muziek die je draait blijken er veel meer details van de omgeving te worden weergegeven, de ruimte rond de box wordt breder en dieper en verraadt veel meer van het algehele klankgebeuren. Vooral bij enkele opnames op het Chesky-label, die bekend staan om hun natuurlijke karakter, waan je jezelf in de studio op de plaats van de opnamemicrofoons. Het is moeilijk om bij de Vertigo aan te geven in welke eigenschappen dit systeem nu meer of minder uitblinkt. Hoge tonen worden zeer gedetailleerd weergegeven, maar toch blijven ze altijd heel natuurlijk klinken. De laagweergave is zeer strak en ondanks de bescheiden afmetingen van de kast mis je ook in het sublaag werkelijk niets. Met je ogen dicht is het haast niet voor te stellen dat dit allemaal mogelijk is met een 18 cm grote woofer. Maar bovenal is het totaalbeeld dat imponeert: rustig, goed gebalanceerd en nooit overdreven, maar toch ook geen enkel detail verhullend.

Specificaties

Naam:	**Scanspeak Vertigo**
Type:	**Drieweg basreflex-systeem**
Ontwerp:	**Rolph Smulders**
Laag:	**18W/8831GSE**
Midden:	**12M/4831GSE**
Hoog:	**R2904/7000.09-SE**
Scheidingsfilter:	**12 dB**
Scheidingsfrequenties:	**600 Hz/4 kHz**
Afmetingen: (hxbxd)	**1060 x 240 x 500 mm**
Netto inhoud:	**50 l (laag), 6 l (midden)**
Belastbaarheid:	**70 W**
Nominale impedantie:	**8 Ohm**
Gevoeligheid:	**87 dB (2,83 V/1 m)**
Prijs (per kast):	**€ 800 (drivers)**
	€ 140 (filtercomponenten)
	€ 70 (dempingsmateriaal en baspoort)
	€ 75 (bekabeling & terminal)
houtpakket:	**€190**
gebouwde gefineerde kast:	**€ 500**



Ten opzichte van een goed tweeweg-systeem zoals de Ultimo zul je als liefhebber toch wel zo'n 700 Euro extra moeten uitgeven om in het bezit te komen van een set Vertigo's. Is het dat waard? Nou, als u eenmaal het verschil hebt gehoord, dan zult u er zeker niet lang over na hoeven te denken. Ga maar eens luisteren en overtuig uzelf.

Figuur 4. Frequentie-karakteristiek luidspreker, impedantiecurve en vormingscurve

100% Audio

Verplichte kost voor audio-liefhebbers



DVD's

Luidsprekers ontwerpen

DVD Masterclass Luidsprekers

Deze DVD-ROM is een registratie van de Elektor Masterclass Luidsprekers Ontwerpen. In deze masterclass behandelt Peter Swarte (voormalig ontwikkelaar luidsprekersystemen bij Philips en nu docent aan de Hogere Cursus Akoestiek in Antwerpen) de theorie en de praktijk van moderne luidsprekersystemen. Deze DVD bevat o.a. 4,5 uur beeldregistratie, de complete powerpointpresentatie van Swarte, rekensjablonen en -modules en gratis software. De DVD Masterclass Luidsprekers is een ideaal naslagwerk voor student, professional en hobbyist.

ISBN 978-90-5381-219-8 • € 24,95

Boeken



Meten, berekenen en simuleren

Luidsprekerkasten ontwerpen

Dit boek reikt u alle kennis aan om eindelijk het luidsprekersysteem van uw dromen te bouwen. De auteur beschrijft niet alleen hoe u op eenvoudige wijze precies de juiste componenten en behuizingen kiest en het systeem op oogstrelende wijze afwerkt, maar ook hoe u uw favoriete muziek op de juiste manier naar uw zelfgebouwde, luidsprekersysteem stuurt. Centraal staat daarbij het gebruik van Thiele/Small-parameters, waarmee het gedrag van een luidsprekerchassis eenduidig kan worden beschreven.

398 pagina's • ISBN 978-90-5381-137-5 • € 39,50



Begrijpen, ontwerpen en bouwen

Audio-elektronica

Hoe komt geluid van bijvoorbeeld band of CD bij de luidsprekers terecht? Via begrijpen, ontwerpen en bouwen geeft dit boek een antwoord. Begrijpen is de rode draad die door dit boek loopt. Bij alle beschrijvingen van alle componenten en modules legt de schrijver duidelijk uit wat er eigenlijk gebeurt. Eenmaal begrepen, ligt als volgende stap het zelf ontwerpen van schakelingen voor de hand. De stap bouwen bevat beschrijvingen van allerlei effect- en andere geluidsapparatuur. Tot slot een verzameling tips en trucs, o.a. ten behoeve van het foutzoeken.

232 pagina's • ISBN 978-90-5381-193-1 • € 31,50



Nieuwe modelvorming en toepassingen

High-End Buizenversterkers 2

In dit boek gaat auteur Menno van der Veen via een systematisch theoretisch onderzoek na waar de fraaie eigenschappen van buizenversterkers vandaan komen. Hij presenteert nieuwe theorieën en oplossingen voor een perfecte audiokwaliteit met buizenversterkers. Het boek bevat verder toepassingsvoorbeelden, wetenswaardigheden rondom buizenversterkers, schema's en nieuwe ontwerpen van buizen voor- en eindversterkers.

416 pagina's • ISBN 978-90-5381-204-4 • € 44,50



Ken uw klassiekers

Theorie en praktijk van buizenversterkers

Dit boek bundelt alle, voor audiodoeleinden belangrijke, theoretische en praktische buizenkennis! In de eerste hoofdstukken licht de auteur de bouw en de werking van buizen toe. Vervolgens worden elementaire schakelingen bekeken. Er zijn ook twee wat meer losstaande hoofdstukken opgenomen over vervorming en over ruis, microfonie en andere nare bijgeluiden. Vier hoofdstukken beschrijven complete ontwerpen. Hierbij worden van alle onderdelen de berekeningen en de ontwerpoverwegingen gegeven. Tenslotte bevat het boek veel tips voor de bouw en voor het meten van de resultaten.

239 pagina's • ISBN 978-90-5381-151-1 • € 36,50



Topklasse audio voor zelfbouw

Audio par excellence

Een collectie artikelen uit het elektronicamaandblad Elektor, met als thema "natuurgetrouwe geluidsweergave". Er komen voor- en eindversterkers aan bod, maar ook een aantal luidsprekerkasten. Bovendien treft u er een aantal nuttige schakelingen in aan die bij het ontwerpen van geluidsinstallaties goed van pas komen. Het boek geeft met name aandacht aan de realisatie van audio-versterkers, zonder de daarbij noodzakelijke theoretische achtergronden te diepgaand te behandelen. Eenieder die een beetje handig is met soldeerbout en tin, is met dit boek in staat zijn eigen high-end geluidsinstallatie te bouwen.

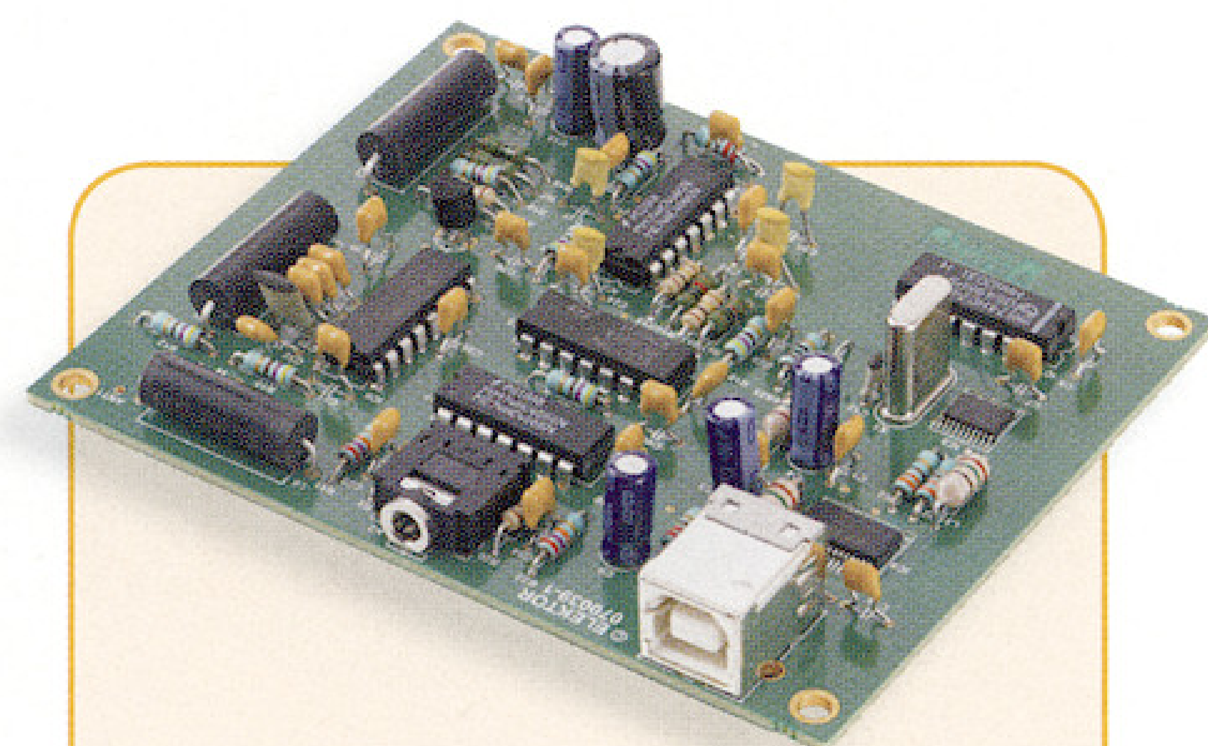
208 pagina's • ISBN 978-90-5381-188-7 • € 26,50

Bestel nu snel, eenvoudig en veilig via onze online shop:

www.elektor.nl

Elektor International Media BV
Postbus 11
6114 ZG Susteren
Tel. +31 (0)46 - 43 89 444
Fax +31 (0)46 - 43 70 161
E-mail: verkoop@elektor.nl

elektor SHOP

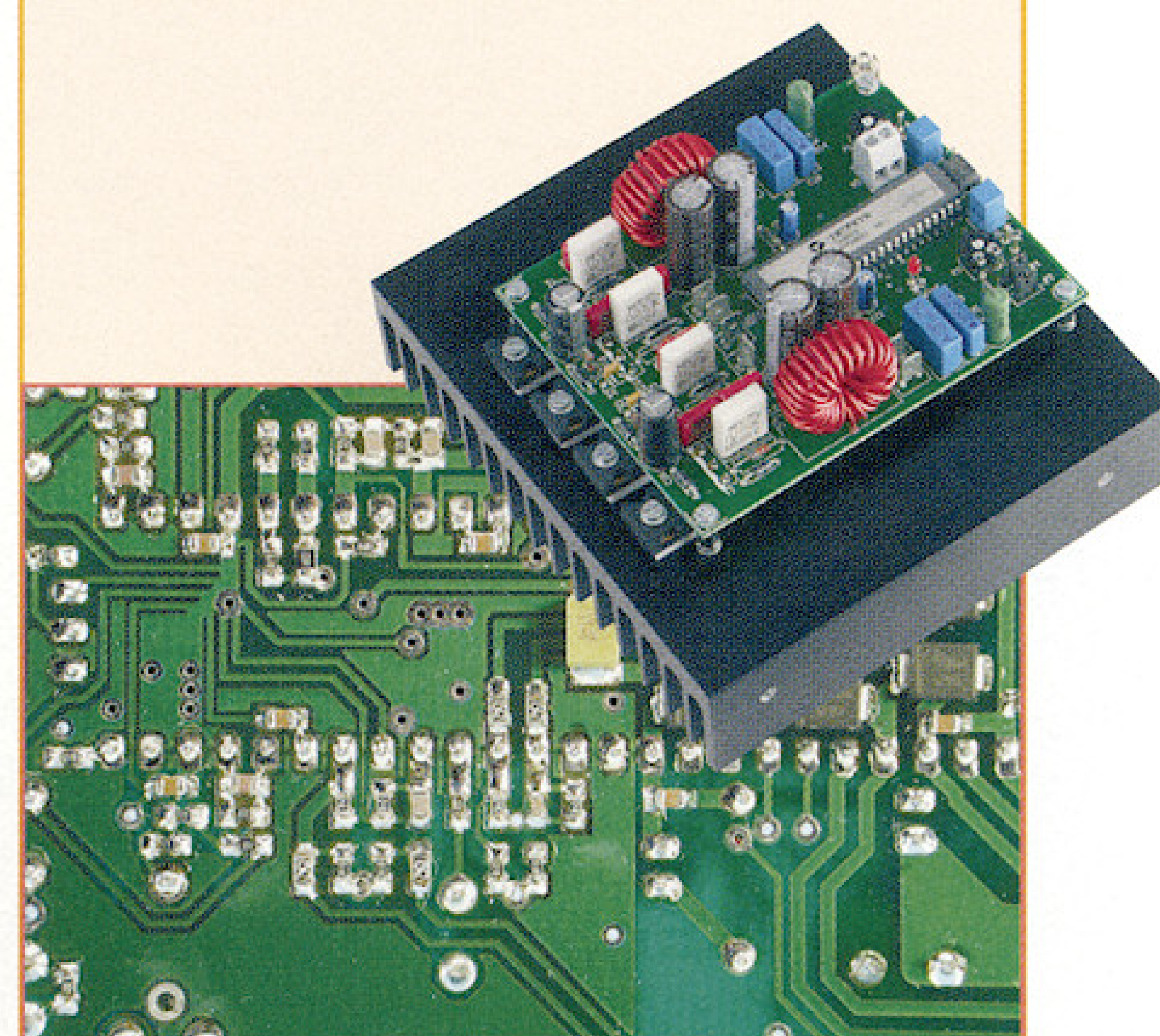


Software Defined Radio

Bij radio-ontvangst d.m.v. computerprogramma's kan de hardware voor het ontvangen van de radiosignalen beperkt van omvang zijn. De software doet het meeste werk. Deze universele ontvanger voor 150 kHz tot 30 MHz, is geschikt voor zowel DRM- als AM-signalen. De ontvanger wordt via een USB-poort met de computer verbonden.

Compleet opgebouwde en geteste print

Art.-Nr. 070039-91 • € 105,00



ClariTy eindversterker

Efficiënt, compact en niettemin met specificaties die menig conventioneel ontwerp moeiteloos overtreffen. Dat is de ClariTy eindversterker van Elektor. Niet zomaar een 'pulsbreedte'-versterker dus. De 2x300-W-versterkerprint heeft zeer bescheiden afmetingen. Een groot deel van de componenten is namelijk in SMD uitgevoerd en aan de onderzijde van de print geplaatst. Elektor maakt de bouw van deze versterker wel heel gemakkelijk!

Stereo versterkerprint met alle SMD's reeds voorgemonteerd (incl. kernen voor L1 en L2)

Art.-Nr. 030217-91 • € 51,95

Kits & Modules

MinimA

Een minimalistische 120 W klasse-B versterker



DOOR SANDER SASSEN

Klasse-B versterkers vertegenwoordigen zo'n 90% van alle transistor versterkers, daarmee is dit concept dan ook mateloos populair. Helaas lopen de prestaties uiteen van erbarmelijk slecht tot uitstekend. De hier gepresenteerde versterker combineert uitmuntende prestaties met een minimaal aantal onderdelen.

Inleiding

Het vorig jaar gepubliceerde ExtremA versterker ontwerp blonk uit in vervormingscijfers, maar ook het aantal hiervoor benodigde onderdelen was fors. Niet in de laatste plaats omdat er gebruik werd gemaakt van aparte voedingen voor de voor- en eindtrap die volledig discreet waren opgebouwd. Daarnaast was in verband met het rendement van klasse-A versterkers de versterker uitgevoerd als burgversterker, waardoor een groot aantal onderdelen uiteraard dubbel was uitgevoerd. Het grote voordeel van deze benadering was uiteraard wel dat de 100 W/8-Ohm hiermee gehaald werd. Niettemin was het benodigde koellichaam om de twee eindtrappen te koelen fors net zoals het aantal benodigde onderdelen, hetgeen de opbouw alles behalve eenvoudig maakte.

Zonder afstand te doen van de insteek om zo goed mogelijke vervormingscijfers neer te zetten is voor deze Audio Special een eenvoudiger na te bouwen versterker ontworpen, gebaseerd op het klasse-B concept. De insteek daarbij was om met zo min mogelijk onderdelen tot een ontwerp te komen dat zich onderscheidt van andere klasse-B versterkers door prima vervormingscijfers. Het maximale uitgangsvermogen is met 120 W/8-Ohm en maar liefst 200 W/4-Ohm zo gekozen dat hiermee het gros van alle luidsprekers prima is aan te sturen. Bij 40 W/8-Ohm worden er echter bij 1 kHz nog steeds vervormingscijfers gehaald die onder de ruisdrempel (-106 dB) van de versterker liggen, pas bij 10 kHz komt de vervorming uit de ruisdrempel vandaan.

Het Miller concept

Veel versterkers zijn ontworpen conform het Miller concept (figuur 1). Dit concept is niet alleen recht-toe-recht-aan, maar zorgt bij een zorgvuldige benadering ook voor uitstekende resultaten. Bij het Miller concept bestaat een versterker grofweg uit drie trappen: de ingangstrap, feitelijk een transconductantie trap, de transimpedantie trap en de eindtrap. De eerste trap is in de regel een transconductantie trap (voltage naar stroom omzetter) opgebouwd uit een verschilversterker en dus differentieël van karakter, waarmee dus alleen naar het verschil tussen beide signalen gekeken wordt. De tweede trap, de transimpedantie trap (stroom naar voltage omzetter) zorgt hier voor de versterking. De derde trap is bij het Miller concept feitelijk altijd een eindtrap met een versterkingsfactor van één (unity-gain). Daarmee is de totale versterking van de versterker simpelweg het product van de transconductantie van de ingangstrap en de transimpedantie van de tweede trap. De transimpedantie van de tweede trap wordt hier feitelijk volledig bepaald door de compensatie condensator. De beperkende factoren in de vervorming komen hierbij grotendeels voor rekening van de hoeveelheid terugkoppeling die gebruikt wordt in plaats van de open-loop bandbreedte. Dit omdat de lokale terugkoppeling in de transimpedantie trap door de compensatie condensator een sterk lineairiserend effect heeft. Door in het gehele Miller concept eens kritisch te kijken waar nog winst te boeken valt door de overdracht van de drie trappen verder te lineairiseren kan ook de hoeveelheid

terugkoppeling beperkt worden, zodoende kan de vervorming nog verder teruggedrongen worden.

Klasse-B

Feitelijk is puur klasse-B bedrijf niet geschikt om zeer lage vervormingscijfers te behalen, simpelweg omdat bij afwezigheid van signaal geen van beide eindtransistoren in geleiding is. Hierdoor is het rendement wel hoog, als er geen signaal aanwezig is zijn de eindtransistoren immers niet in geleiding, maar ook de cross-over vervorming is aanzienlijk. Hier is dan ook gekozen voor geoptimaliseerd klasse-B bedrijf, waarbij de ruststroom zo gekozen is dat bij afwezigheid van signaal de cross-over vervorming minimaal is. Een dergelijke klasse-B instelling wordt in het gros van de transistorversterkers gebruikt en is beter bekend als 'klasse-AB', terwijl dit feitelijk geen juiste benaming is. Als de te leveren emitterstroom namelijk groter wordt dan de ruststroom functioneert de versterker helemaal in klasse-B. Omdat uit praktische redenen (om kostbare koellichamen klein te houden) bij de meeste versterkers deze ruststroom vaak klein is, kleiner dan optimaal voor minimale vervorming, is in de meeste gevallen van bruikbaar klasse-A bedrijf geen sprake. Echt klasse-A bedrijf met een bruikbaar uitgangsvermogen resulteert altijd in aanzienlijke ruststromen van ettelijke ampére's die om grote koellichamen vragen om het in rust gedissipeerde vermogen in warmte om te zetten. Het ExtremA ontwerp dissipeert in rust ongeveer 200 W, om een veilige bedrijfstemperatuur van >65-graden Celcius te handhaven is een koellichaam benodigd van minimaal 0,2 K/W, dat is aanzienlijk, zowel qua formaat als prijs.

Transistoren

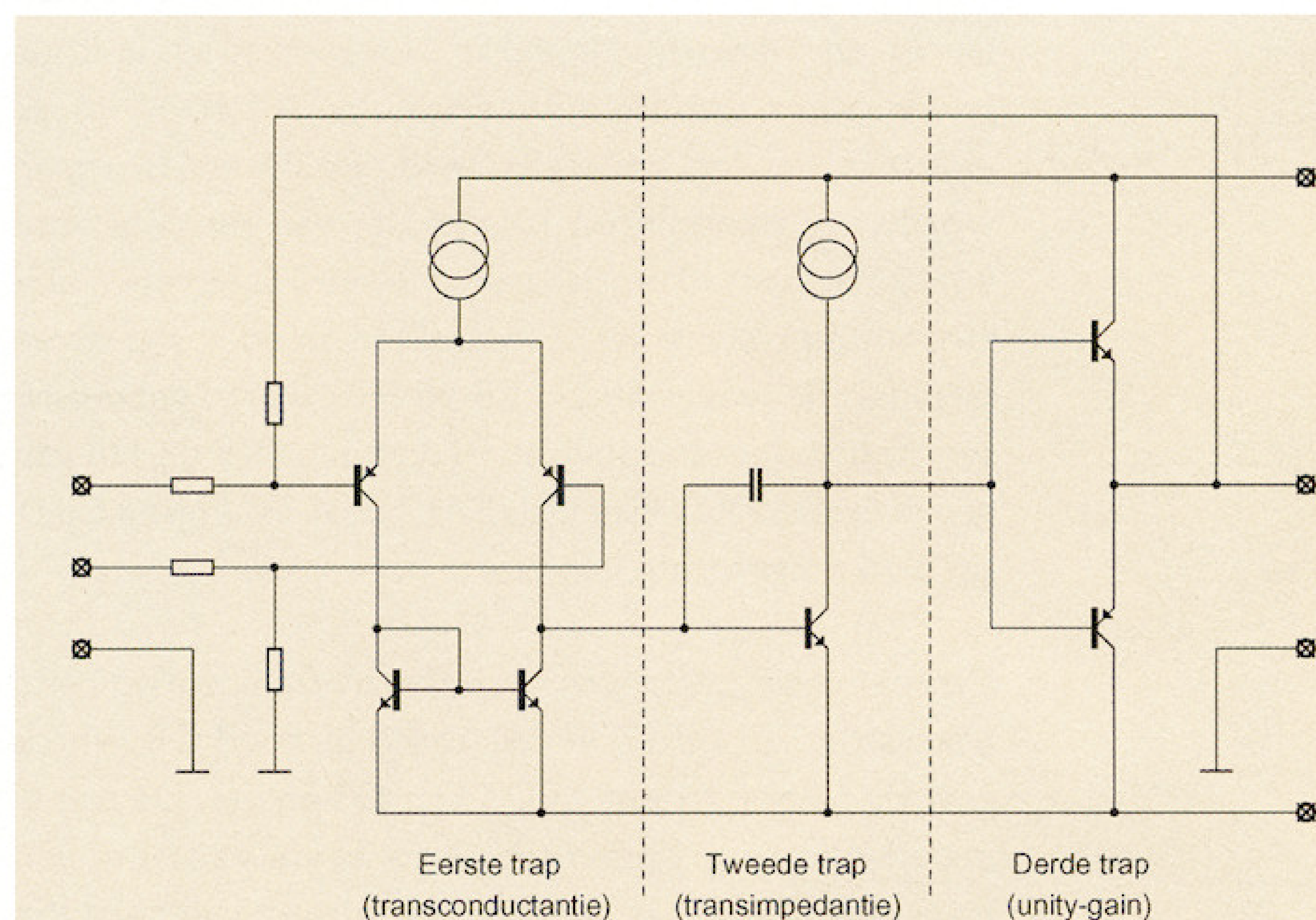
Ook bij dit ontwerp wordt gebruik gemaakt van gangbare transistoren, omdat de eigenschappen als ruisbijdrage, lineariteit en vervorming in hoofdzaak door het ontwerp worden vastgelegd en in mindere mate door de gebruikte transistoren. Voor het Hfe gepaarde ingangspaar wordt gebruik gemaakt van de populaire Toshiba 2SA970, in de transimpedantie trap van de complimentaire Toshiba 2SC2240. Alle transistoren gebruikt in de stroombron en stroomspiegel zijn gewone BC550C/BC560C. Voor de cascode en stroombron waar meer vermogen per transistor wordt gedissipeerd zijn de MJE340/350 ingezet, idem voor de driver transistoren in de eindtrap en de Vbe multiplier. De eindtransistoren zijn de bekende On Semi (voorheen Motorola) MJL21193/21194, een robuust complimentair paar dat in veel versterkerontwerpen is terug te vinden en geoptimaliseerd is voor het gebruik in eindversterkers.

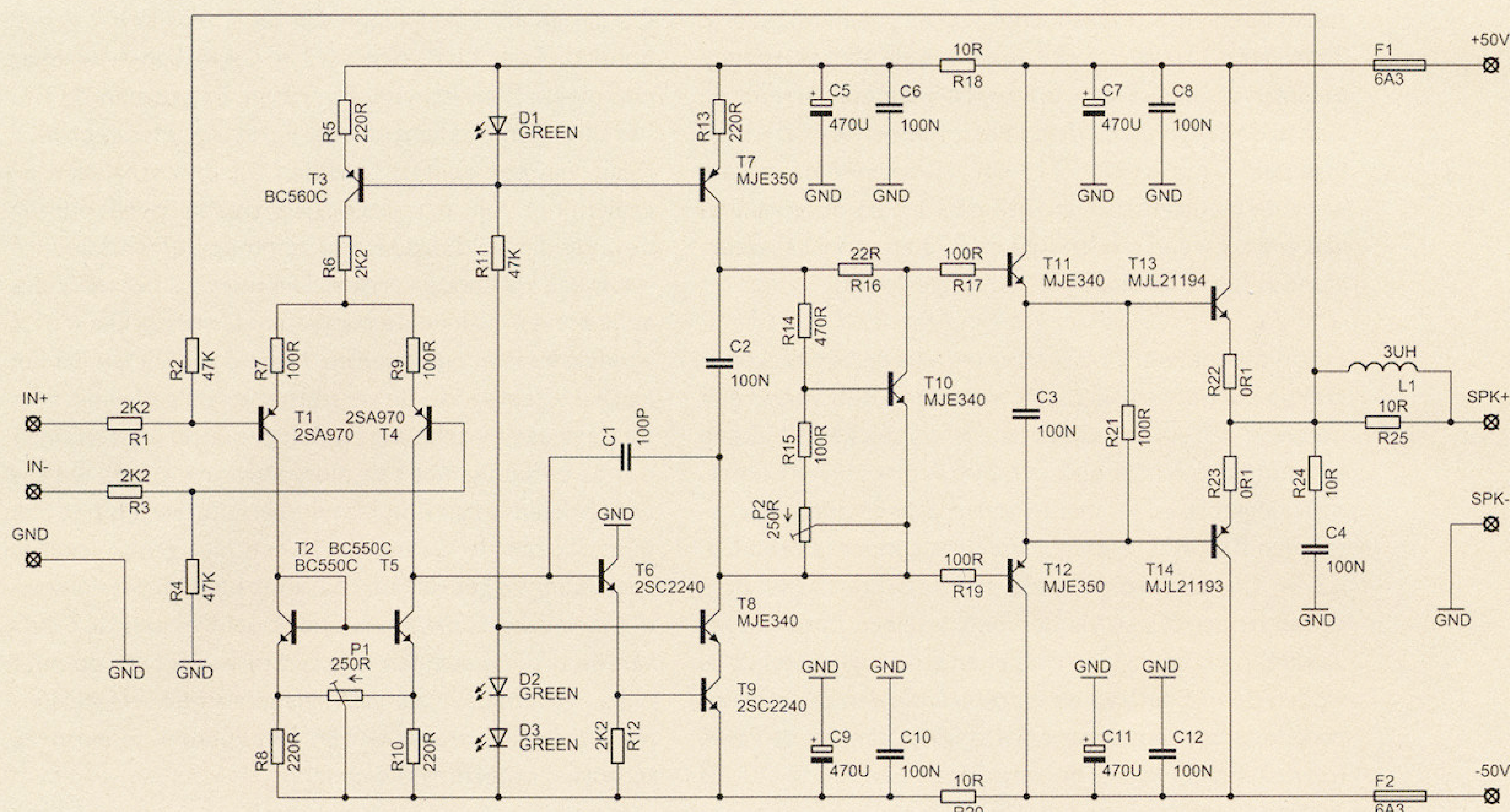
Ontwerp

In het schema (figuur 2) van de MinimA versterker zijn eenvoudig de drie trappen van het Miller concept terug te vinden. Zoals te zien in het schema is de versterker uitgevoerd met een gebalanceerde ingang, om maximaal

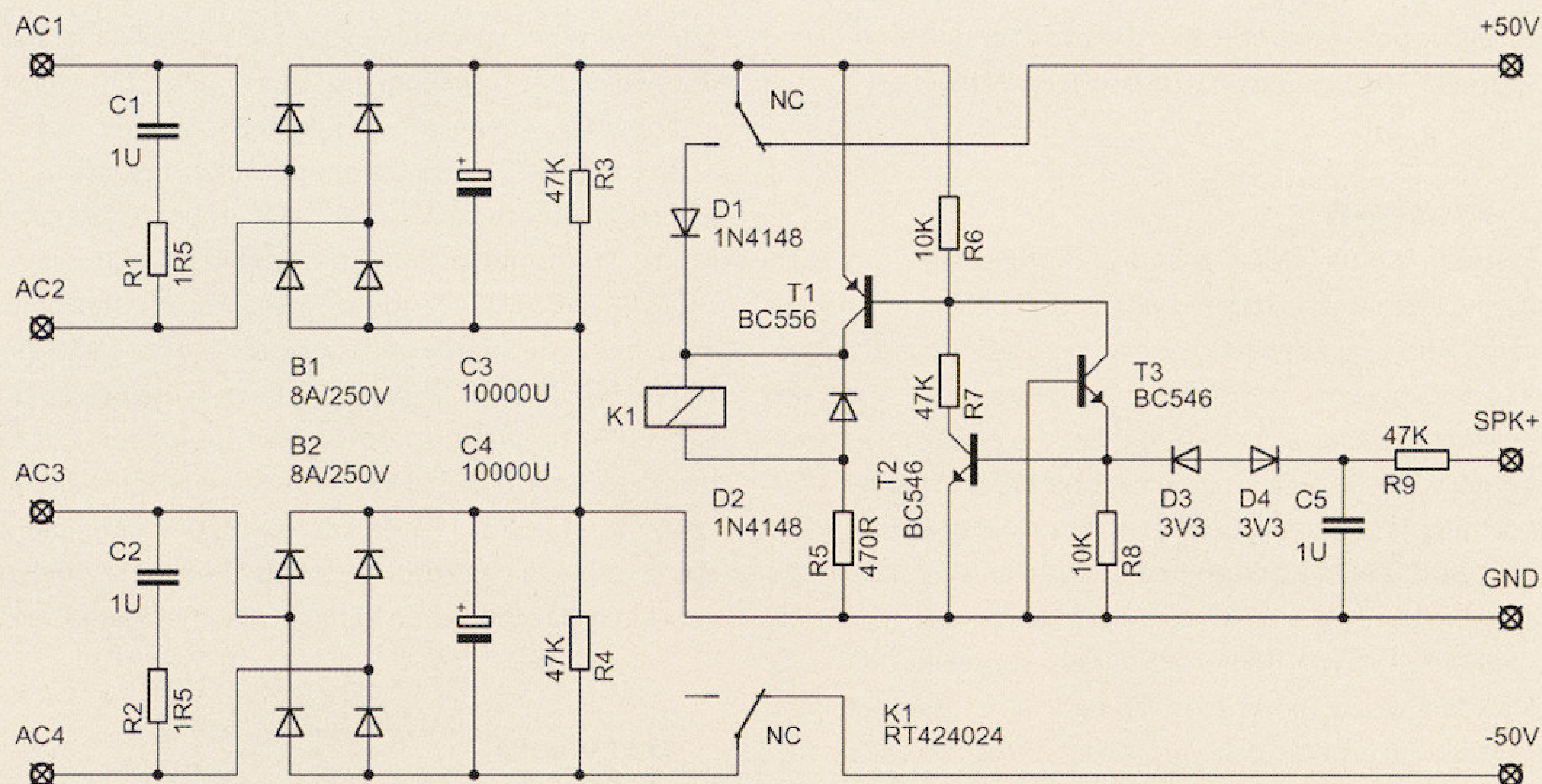
Figuur 1: **Miller concept, drietraps benadering**

Figuur 2: **Schema MinimA versterker**





Figuur 3: Schema MinimA voeding



te kunnen profiteren van de voordelen van gebalanceerde signaaloverdracht. Een verschilpaar opgebouwd uit T1 en T4 vormt de verschilversterker en is door middel van degeneratie weerstanden R7 en R9 in de emitters verder gelineairiseerd. Beide transistoren worden via stroombron T3 voorzien van een constante emitterstroom. Transistoren T2 en T5 vormen een stroomspiegel die wederom door middel van twee degeneratie weerstanden R8 en R10 wordt gelineairiseerd. Instelpotentiometer P1 vervult hier de rol van een precieze DC offset afstelling, zodat de uitgang exact op 0 volt afgeregeld kan worden.

De referentiespanningen voor de stroombronnen rond transistor T3 en T7 en de cascode rond T8 wordt gevormd door groene LED's D1, D2 en D3. De transimpedantie trap vinden we terug in de gedaante van transistor T9. De overdracht van de transimpedantie trap wordt verder gelineairiseerd door de cascode T8 en de emittervolger T6 waardoor de vervorming van de transimpedantie trap effectief wordt geminimaliseerd. Transistor T10 vormt een zogenaamde Vbe vermenigvuldiger en levert een uitgangsspanning waarmee de ruststroom van de eindtrap door middel van P2 wordt ingesteld. Transistoren T11 en T12 vormen de drivers voor de eindtransistoren T13 en T14 die door middel van emitterweerstanden R22 en R23 en spoel L1, weerstand R25 op de belasting zijn aangesloten.

Een Zobel netwerk op de uitgang van de versterker in combinatie met spoel L1 en weerstand R25 vormt een netwerk dat ervoor zorgt dat de versterker altijd een belasting ziet en dat ook complexe, niet zuiver ohmse, belastingen goed kunnen worden aangestuurd. Weerstanden R18, R20 in combinatie met condensatoren C5, C6 en C9, C10 vormen een RC netwerk dat laagfrequent stoorsignalen via de voedingslijnen onderdrukt. Zodoende is er minder rimpel en stoorsignaal terug te vinden op ingangstrap en de referentie van de transimpedantie trap, de negatieve voedingslijn, en gaat de PSRR (power supply rejection ratio) met een kleine 20 dB omhoog.

De versterking van de MinimA wordt vastgelegd met weerstanden R1, R2 en R3, R4 en bedraagt 26 dB of 20x. De versterker is niet voorzien van een stroombegrenzing, hiervoor zouden nog een aantal extra transistoren nodig zijn, wat ingaat tegen het minimalistische karakter. Door de robuuste eindtransistoren kan de versterker echter aardig wat mishandeling verdragen en als het echt té gek wordt zullen de zekeringen doorbranden. Dit betekent uiteraard wel dat de versterker niet kortsluitvast is, maar datzelfde geldt voor het gros van de commercieël verkrijgbare versterkers. In het geval dat er ergens wel wat misgaat kunnen we vertrouwen op de DC beveiliging die de voedingsspanning naar de versterker afschakelt als er meer dan 6 V gelijkspanning op de uitgang van de versterker staat.

De voeding (figuur 3) is een klassiek recept bestaande uit een ringkern trafo van circa 250 VA met twee gescheiden 35 ~ 40 V wikkelingen, twee gelijkrichtbruggen B1 en B2 voorzien van Zobel netwerken R1, R2, C1, C2 die de afschakelpieken van de diodes in het gareel houden. Twee bufferelco's C3 en C4 maken de voeding compleet. Transistoren T1, T2 en T3 vormen de DC beveiliging in combinatie met relais K1. Het gebruikte relais kan per contact stromen tot 8 A schakelen en gezien het feit dat deze zich tussen twee punten bevindt die beide capacitief ontkoppeld zijn kan zich nooit een vlamboog vormen. Daarmee zal het relais dus altijd zonder plakkende contacten de versterker van de voeding kunnen ontkoppelen. Mede door het feit dat het inschakelgedrag van de versterker exact gedefinieerd is zal deze geen inschakelgeluiden produceren, een relais om de belasting met een tijdsvertraging aan de uitgang te koppelen is dan ook niet nodig. Uiteraard is het ook mogelijk om de versterker in een niet gebalanceerde toepassing te gebruiken, daarvoor kunnen we eenvoudig de ingang voorzien van het label IN- met de GND van de bron verbinden. De versterker wordt op deze wijze geschakeld als een inverterende versterker, mocht dit niet wenselijk zijn dan kunnen de ingangen uiteraard omgedraaid worden.

Opbouw

Bij het ter perse gaan van dit artikel waren er nog geen finale printen beschikbaar doordat de leverancier het liet afweten. Echter de opbouw van de versterker is eenvoudig zelf te doen op een print met Eurocard formaat (160x100-mm). Overal zijn gangbare through-hole componenten gebruikt zodat de opbouw van de versterker ook voor de minder ervaren hobbyist geen enkel probleem moet wezen. Uiteraard begint de opbouw met de montage van de diverse weerstanden, gevolgd door de transistoren en de condensatoren. De uitgangstransistoren T13, T14 alsmede transistoren T10, T11 en T12 dienen nog niet gemonteerd te worden, pas als de versterkerprint en deze transistoren tegen het koellichaam zijn geschroefd worden deze vastgesoldeerd om thermische spanningen en het zich loswerken uit de print van deze transistoren te voorkomen. Transistoren T10 t/m T14 dienen geïsoleerd tegen een koellichaam met een K/W waarde van pakweg 1.5 tot 1 K/W bevestigd te worden. De dissipatie van de eindtransistoren bedraagt pakweg 30 W, waarmee we met een dergelijk koellichaam bij kamertemperatuur onder de grens van 65 graden Celcius blijven.

Bij het afregelen van de ruststroom en de DC offset van de versterker is het belangrijk dat voor het inschakelen instelpotentiometer P1 halverwege z'n bereik wordt afgesteld, instelpotentiometer P2 wordt echter op zijn maximum waarde afgesteld. Om verrassingen bij het inschakelen te voorkomen heeft het zin om 5 of 10 W weerstanden van pakweg 10 Ohm in plaats van de zekeringen te gebruiken. Na het kortsluiten van de ingang, eventueel naar massa, maar dat is geen vereiste, kan nu eerst de DC offset aan de uitgang worden afgeregeld. Daarna wordt de ruststroom ingesteld, de juiste instelling is bereikt als er tussen de beide emitters van de eindtransistoren T13, T14 een spanning van circa 50 mV staat. Dit komt pakweg overeen met een ruststroom van 200 mA per eindtransistor. Na het instellen van de ruststroom heeft het zeker nut om de DC offset nog eens na te lopen. Daarna is de versterker klaar voor gebruik. Let erop dat de versterker geheel DC gekoppeld is en dat eventuele bronnen dus geen DC component mogen bevatten omdat de versterker dan de DC beveiliging zal aanspreken.

Naam: MinimA
Ontwerp: Sander Sassen
Email: ssassen@hardwareanalysis.com

Meetresultaten

Maximaal vermogen (0,1% THD) : 120 W/8-Ohm, 200 W/4-Ohm
Signaal/ruis verhouding (A-gewogen) : 106 dB
Vermogensbandbreedte (120 W/8-Ohm) : 0 – 250 kHz
Ingangsimpedantie (gebalanceerd) : 2K2

Harmonische vervorming

80W/8-Ohm (80 kHz bandbreedte) :
1 kHz : 0.00089% / 10 kHz : 0.0077%
40W/8-Ohm (80 kHz bandbreedte) :
1 kHz : 0.00052% / 10 kHz : 0.0044%
20W/8-Ohm (80 kHz bandbreedte) :
1 kHz : 0.00033% / 10 kHz : 0.0028%

Onderdelenlijst versterker

R1,R3,R6,R12 (4) = 2K2 1% 1/4W
R2,R4,R11 (3) = 47K 1% 1/4W
R5,R8,R10,R13 (4) = 220R 1% 1/4W
R7,R9,R15,R17,R19,R21 (6) = 100R 1% 1/4W
R14 (1) = 470R 1% 1/4W
R16 (1) = 22R 1% 1/4W
R18,R20 (2) = 10R 1% 1/4W
R22,R23 (2) = 0R1 5W
R24,R25 (2) = 10R 2W

C1 (1) = 100 pF styroflex
C2,C3,C4,C6,C8,C10,C12 (7) = 100 nF/63 V polyester
C5,C7,C9,C11 (4) = 470 uF/63V

D1,D2,D3 (3) = LED 3-mm groen

T1,T4 (2) = 2SA970 Hfe gepaard
T2,T5 (2) = BC550C
T3 (1) = BC560C
T6,T9 (2) = 2SC2240
T7,T12 (2) = MJE350
T8,T10,T11 (3) = MJE340
T13 (1) = MJL21194
T14 (1) = MJL21193

L1 (1) = 14 wikkelingen Ø1.4-mm om Ø10-mm
F1,F2 (2) = 6A3T (traag)
P1,P2 (2) = 250R cermet meerslagen

Onderdelenlijst voeding

R1,R2 (2) = 1R5 2 W
R3,R4,R7,R9 (4) = 47K 1% 1/4 W
R5 (1) = 470R 1% 1/4W
R6,R8 (2) = 10K 1% 1/4W

C1,C2,C5 (3) = 1 uF/63 V polyester
C3,C4 (2) = 10000 uF/63 V BHC ALC10

T1 (1) = BC556(B/C)
T2,T3 (2) = BC546(B/C)

D1,D2 (2) = 1N4148
D3,D4 (2) = BZX55,BXZ79 3V3 500 mW
B1,B2 (2) = brugcel 8 A/250 V

K1 (1) = RT424024
Transformator circa 250 VA, 2x35-40 V
Koellichaam minimaal 1,5 K/W

Gebalanceerde voorversterker/ actief wisselfilter

Een standaard recept voor diverse toepassingen

DOOR WIM DE JAGER

Voor applicaties zoals line drivers, brugversterkers en actieve filters zijn signalen nodig met gelijke amplitude en tegengestelde fase. De in dit artikel gepresenteerde gebalanceerde voorversterker is speciaal voor dit doel ontworpen. Als toepassing is een actief wisselfilter gekozen, waarbij het ontwerp volledig is gebaseerd op bipolaire transistoren.

Balansschakeling met opamps

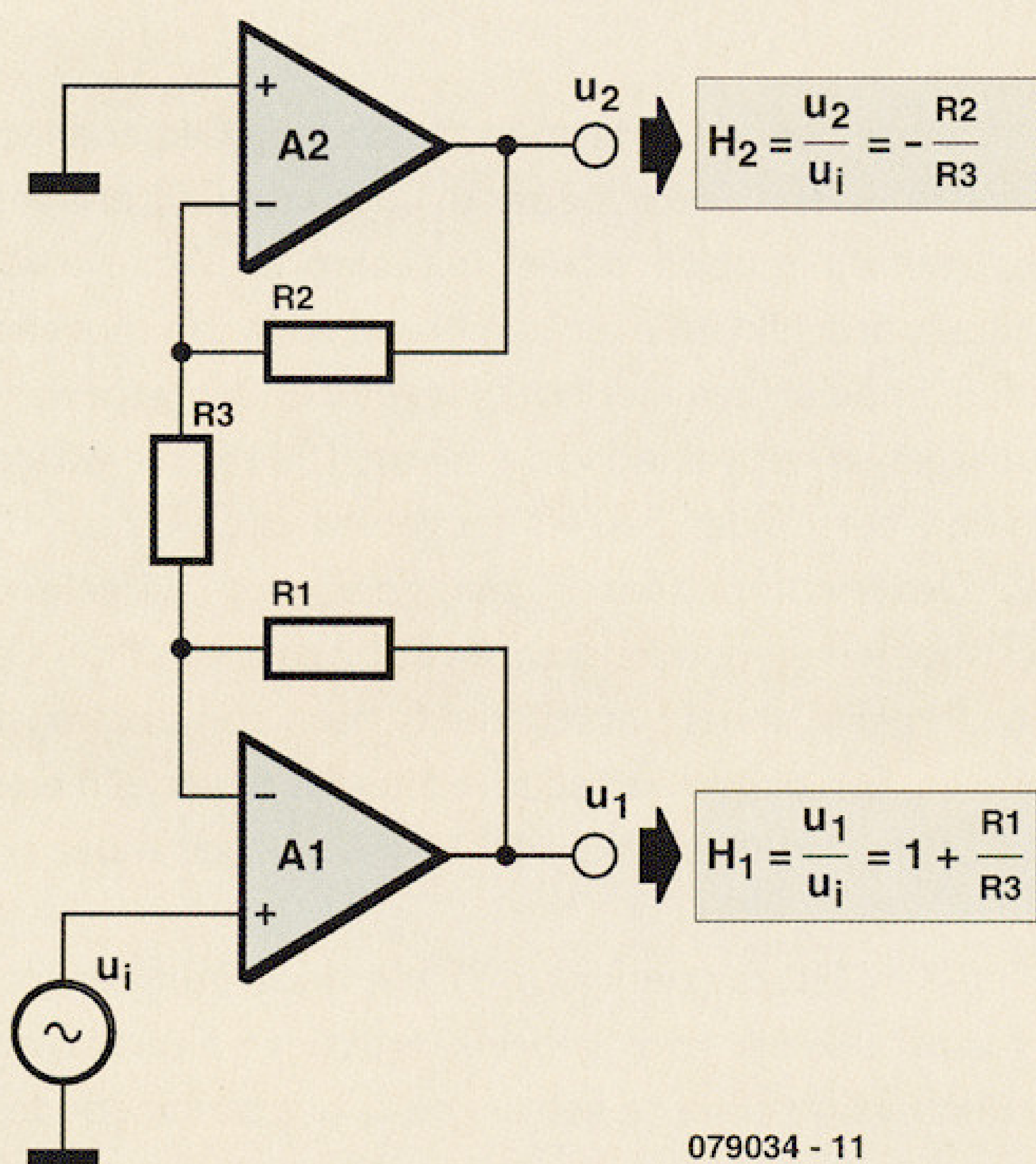
Een gebalanceerde versterker kan in principe worden ontworpen met twee opamps, zoals te zien in figuur 1. Bij enkelzijdige uitsturing en met R1 = R2 zijn ondanks de symmetrie van de schakeling de amplitudes van de uitgangssignalen ongelijk. Het gebruik van ongelijke weerstanden voor gelijke amplitudes verstoort de symmetrie van de schakeling. Voor de beste resultaten verdient het dan ook de voorkeur om een voor dit doel geoptimaliseerde schakeling te ontwerpen. Uit het schema kan echter wel worden afgeleid, dat voor deze functie (gebalanceerde in- en uitgangen) naast twee uitgangsklemmen vier ingangsklemmen noodzakelijk zijn.

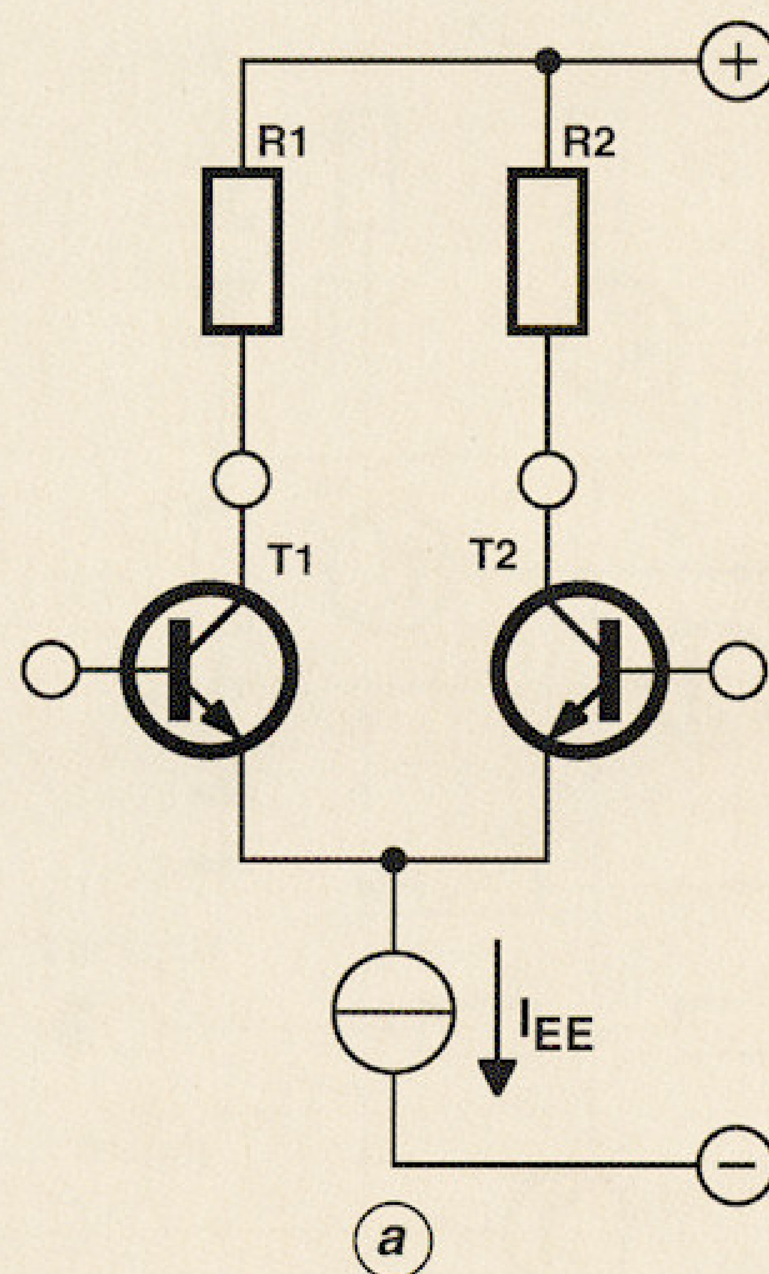
Passieve en actieve collectorbelasting

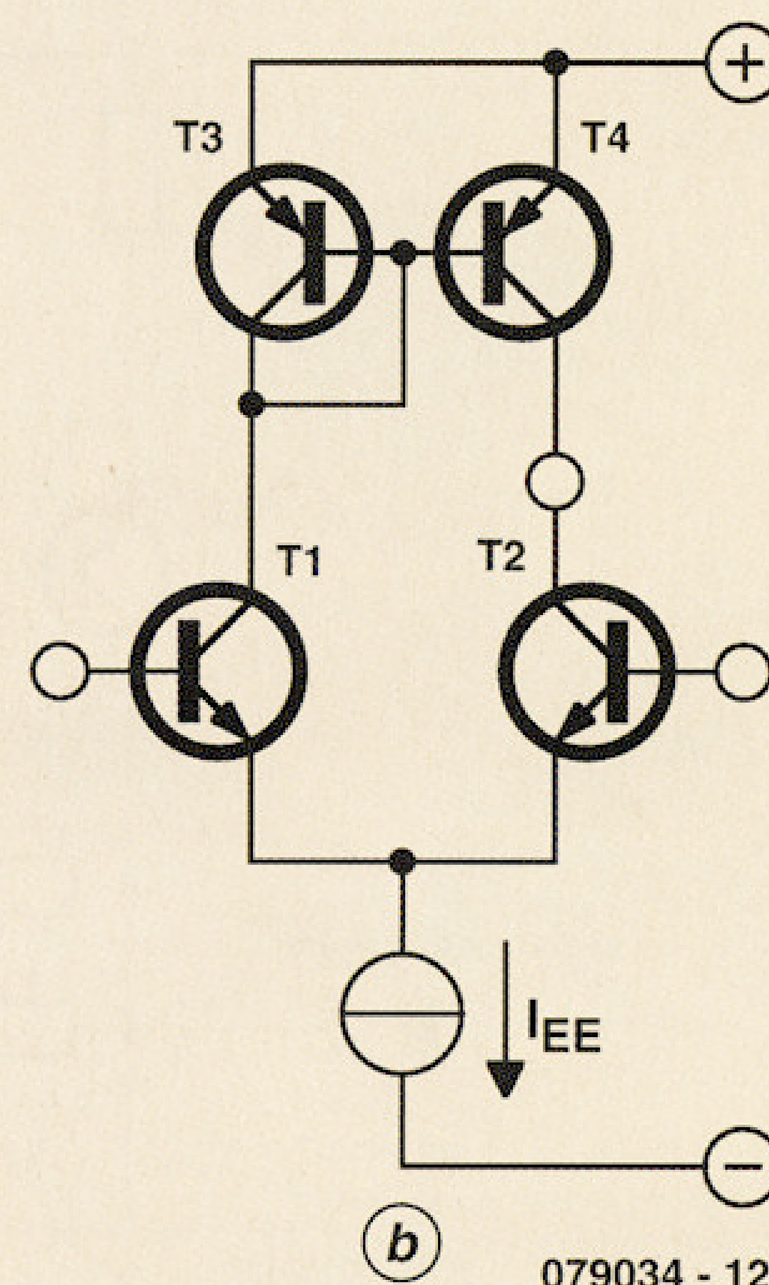
Aangezien het uitgangspunt een gebalanceerde versterker is ligt het voor de hand om als ingangstrap een verschilversterker te kiezen. Bij een collectorbelasting met twee identieke weerstanden (passieve collectorbelasting), zie figuur 2a, kan een grote versterking worden bereikt met grote weerstandswaarden. Dit heeft een grote DC spanning over de weerstanden tot gevolg en is daarom niet aantrekkelijk. Met een stroomspiegel (actieve collectorbelasting), zie figuur 2b, is een hoge spanningsversterking bereikbaar maar de symmetrie is verstoord.

Stroom absorptie schakelingen

Dit soort schakelingen heeft tot doel om uitgaande van een symmetrische structuur aangeboden DC stromen van bij voorbeeld een verschilversterker te absorberen en een gewenste overdracht te realiseren. Er zijn twee uitvoeringsvormen met elk eigen toepassingsmogelijkheden. Symmetrie kan worden verkregen zoals aangegeven in figuur 3a, maar dit is geen praktisch toepasbare schakeling. Immers, T3 en T4 absorberen de aangeboden stromen, maar er zijn geen AC uitgangsspanningen



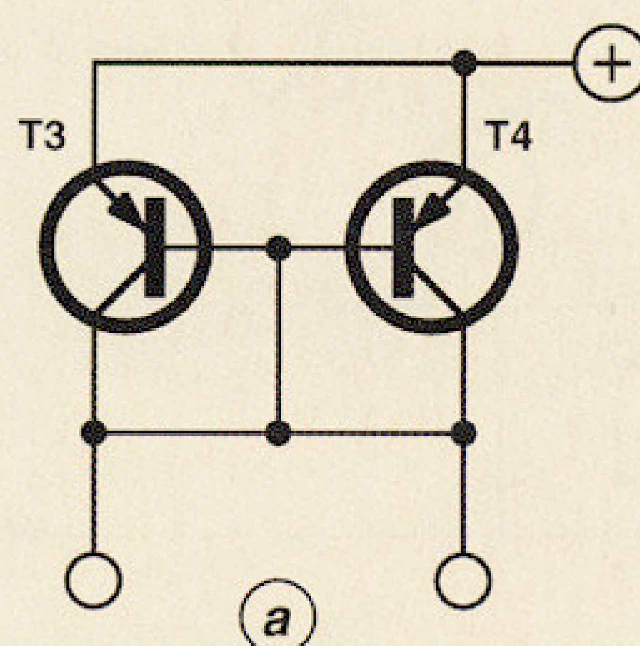


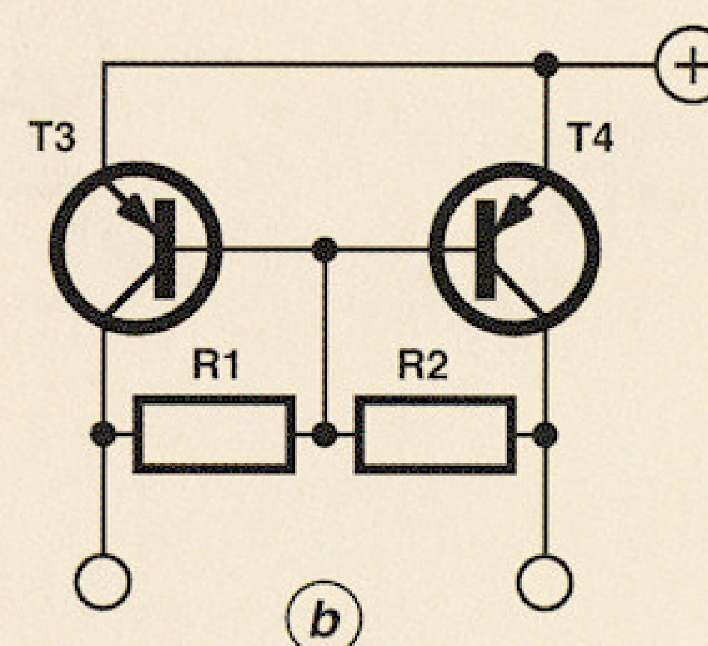


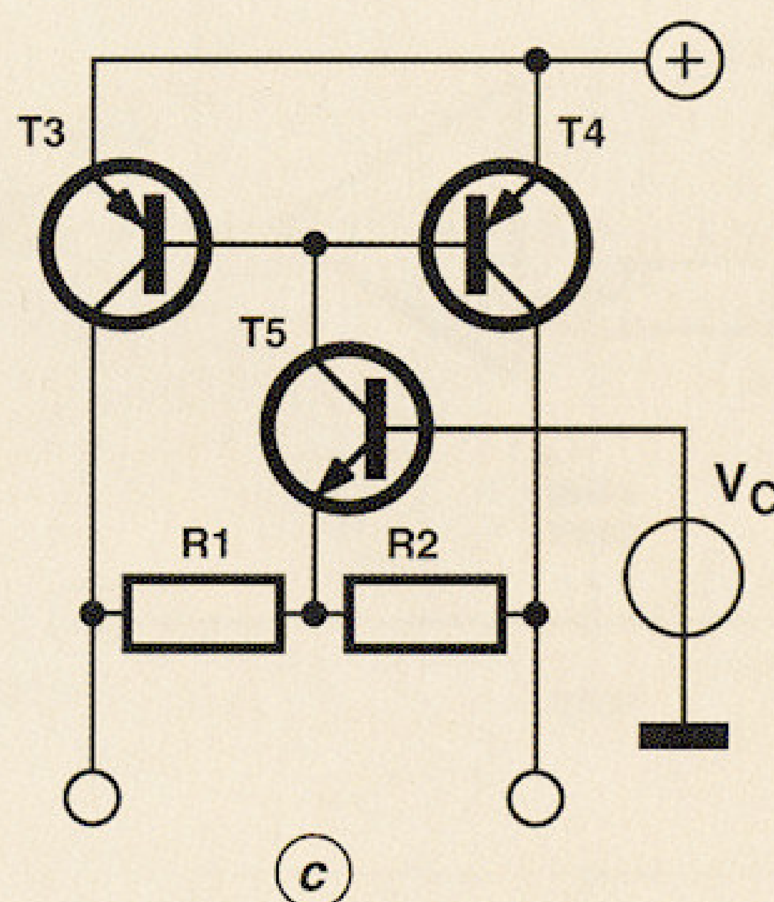
beschikbaar. In figuur 3b is dit wel het geval. Aangezien door de weerstanden slechts de basisstromen lopen is vergeleken met passieve collectorbelasting een grote weerstandswaarde acceptabel en daarmee kan dus een grote spanningsversterking worden bereikt. Een aanzienlijk nadeel is dat het uitstuurbereik in positieve richting slechts een halve diodedrempel (ca. 0.3 V) is. Dit probleem kan worden opgelost door de toevoeging van T5, zie figuur 3c.Voor de spanningsversterking zijn R1 en R2 van belang en het DC niveau van de uitgangen kan worden ingesteld met VC. In figuur 3d zijn R1 en R2 vervangen door de transistoren T5 en T6, die tevens de tweede trap vormen. De instelstroom van deze trap wordt bepaald door IEE2. Een bijzonder aspect van de tweede trap betreft de vervormingseigenschappen. De uitsturing van T5 en T6 is gebaseerd op stroomsturing van de bases met de conditie dat de som van de emitterstromen constant is. Dit heeft tot gevolg dat de effectieve β van T5 en T6 gelijk is aan:

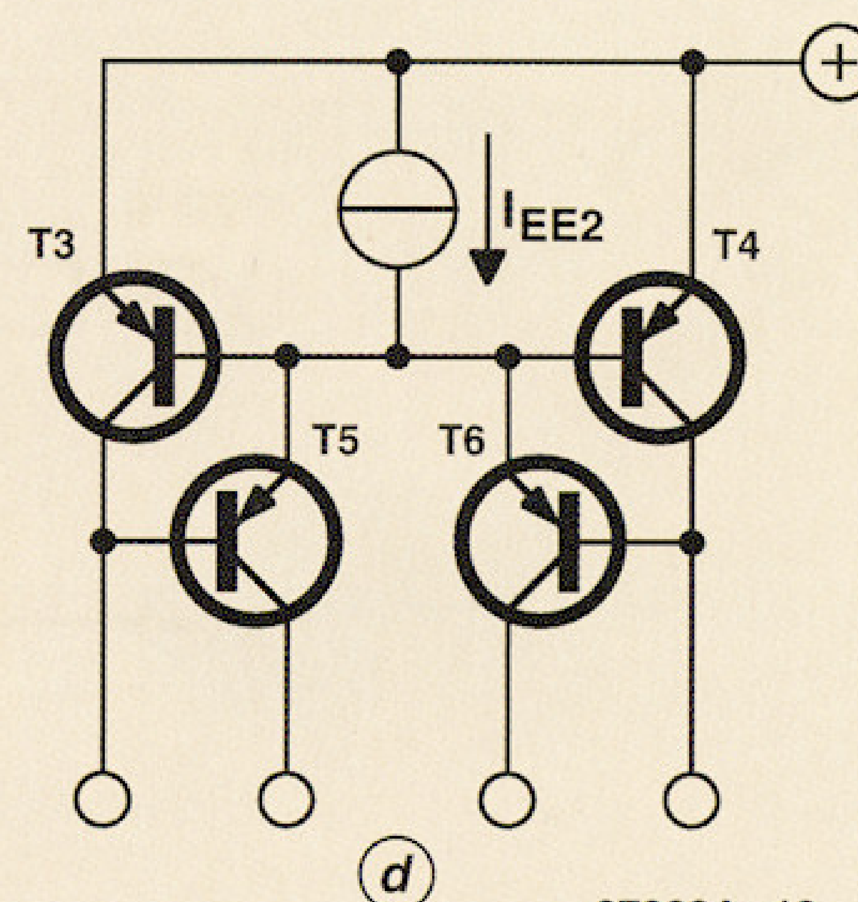
(2 keer de parallelwaarde van β5 en β6) [1]

$$\beta(effectief) = 2 \times \frac{\beta 5 \times \beta 6}{\beta 5 + \beta 6}$$









Bij uitsturing wordt op deze wijze de invloed van de toename van β5 grotendeels door een afname van β6 gecompenseerd en vice versa. Uit metingen is gebleken dat de THD hierdoor een factor 20 kleiner is. Deze compensatie is van groot belang omdat in de gebalanceerde voorversterker het niet-lineaire gedrag van β5 en β6 een dominante bron van vervorming is.

Gebalanceerde voorversterker

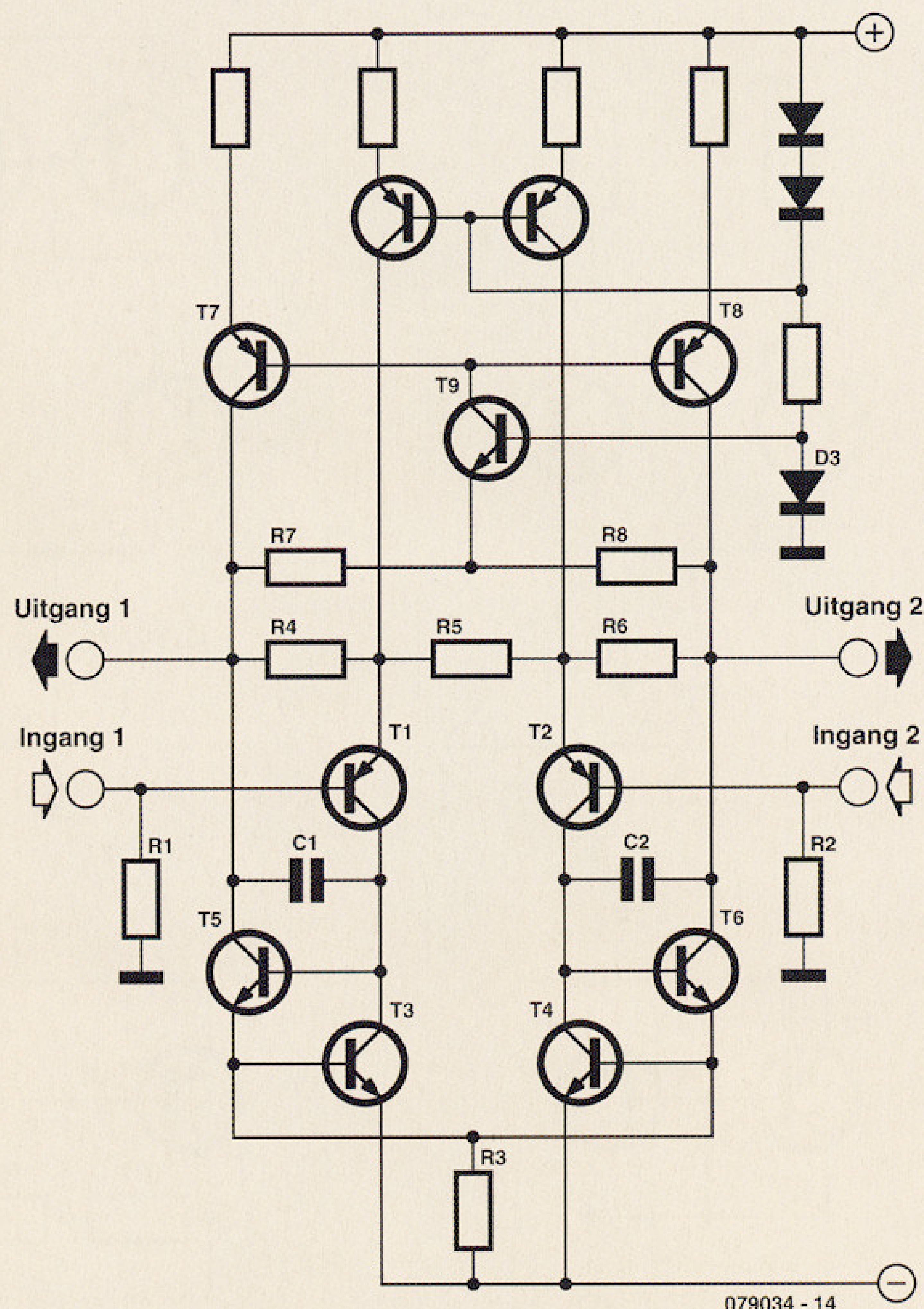
De voorversterker in figuur 4 bestaat uit twee trappen. T1 en T2 vormen de ingangstrap met als collectorbelasting een complementaire uitvoering van de schakeling van figuur 3d. T5 en T6 vormen tevens de tweede trap. In plaats van een stroombron in de emitterketen van T5 en T6 is gekozen voor een weerstand (R3). Omdat de spanning over de weerstand bij uitsturing vrijwel constant is wordt ook met een weerstand een stroombronwerking verkregen. Miller frequentie compensatie is gerealiseerd met C1 en C2 . De collectorbelasting van de tweede trap, T7, T8 en T9, komt overeen met de schakeling van figuur 3c. Daarmee worden de collectorstromen van T5 en T6 geabsorbeerd. Het DC niveau van de uitgangsklemmen is ca. 0 Volt omdat D3 met massa is verbonden. Stroomtegenkoppeling met R4,R5 en R6, heeft onder meer als voordeel dat voor de laagohmige ingangsklemmen de emitters van T1 en T2 kunnen worden gebruikt. Hierdoor zijn voor de vier benodigde ingangsklemmen slechts twee transistoren nodig.

De verschilversterkingsfactor is gelijk aan (R4+R6)/R5= 20. De verhouding tussen de uitgangssignalen wordt in belangrijke mate bepaald door R7/R8. Voor R7=R8 zijn de uitgangssignalen in balans. De common mode regeling via R7, R8,T7 en T8 compenseert asymmetrie van de uitgangssignalen zoals aangegeven in figuur 1.

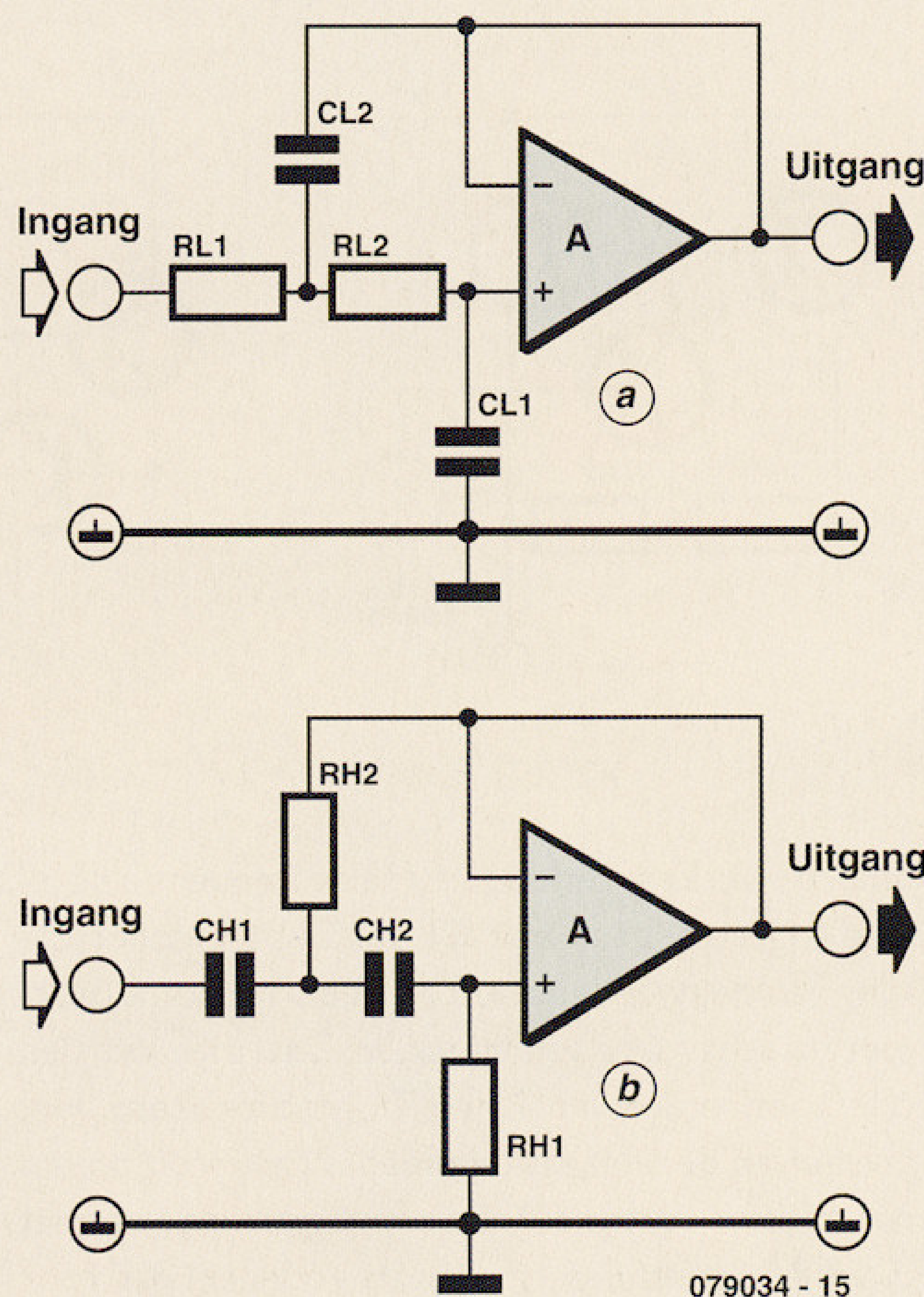
Figuur 1:
Balansversterker met 2 opamps

Figuur 2:
Collectorbelasting
a) passief
b) actief, met stroomspiegel

Figuur 3:
Stroom absorptie schakelingen
a) symmetrische onzin
b) met weerstanden
c) met weerstanden en transmitter
d) met transistoren (tevens 2de trap)



Figuur 4: Gebalanceerde voorversterker



Figuur 5: Principe Sallen-Key filters
a) lowpass, unity gain, 2de orde
b) highpass, unity gain, 2de orde

Actieve filters

Voor passieve wisselfilters gebruikt men vaak film condensatoren van bijvoorbeeld 10 µF en spoelen van bijvoorbeeld 5 mH, beide geschikt voor grote stromen. Een passief filter van goede kwaliteit is daarom kostbaar en ook redelijk fors van formaat. Het ontwerpen van passieve filters is vaak complex omdat de luidsprekers deel uitmaken van het filter. Ook is het vaak niet mogelijk de luidsprekerdemping in het hele frequentiebereik constant te houden. Daarmee zijn de mogelijkheden van passieve wisselfilters beperkt. Bepaalde filtereigenschappen zijn moeilijk of niet te realiseren. Actieve wisselfilters beschikken over een breed scala aan mogelijkheden. Spoelen zijn niet nodig en de condensatorwaarden liggen in het gebied van 1 nF tot 100 nF. De waarde van de weerstanden betreft het gebied van 1 kΩ tot 100 kΩ. Deze componenten zijn goedkoop vergeleken met spoelen en condensatoren voor passieve filters en een dergelijk actief wisselfilter is zeer compact op te bouwen. Een nadeel van actieve filters is dat er één eindversterker per luidspreker driver beschikbaar moet zijn.

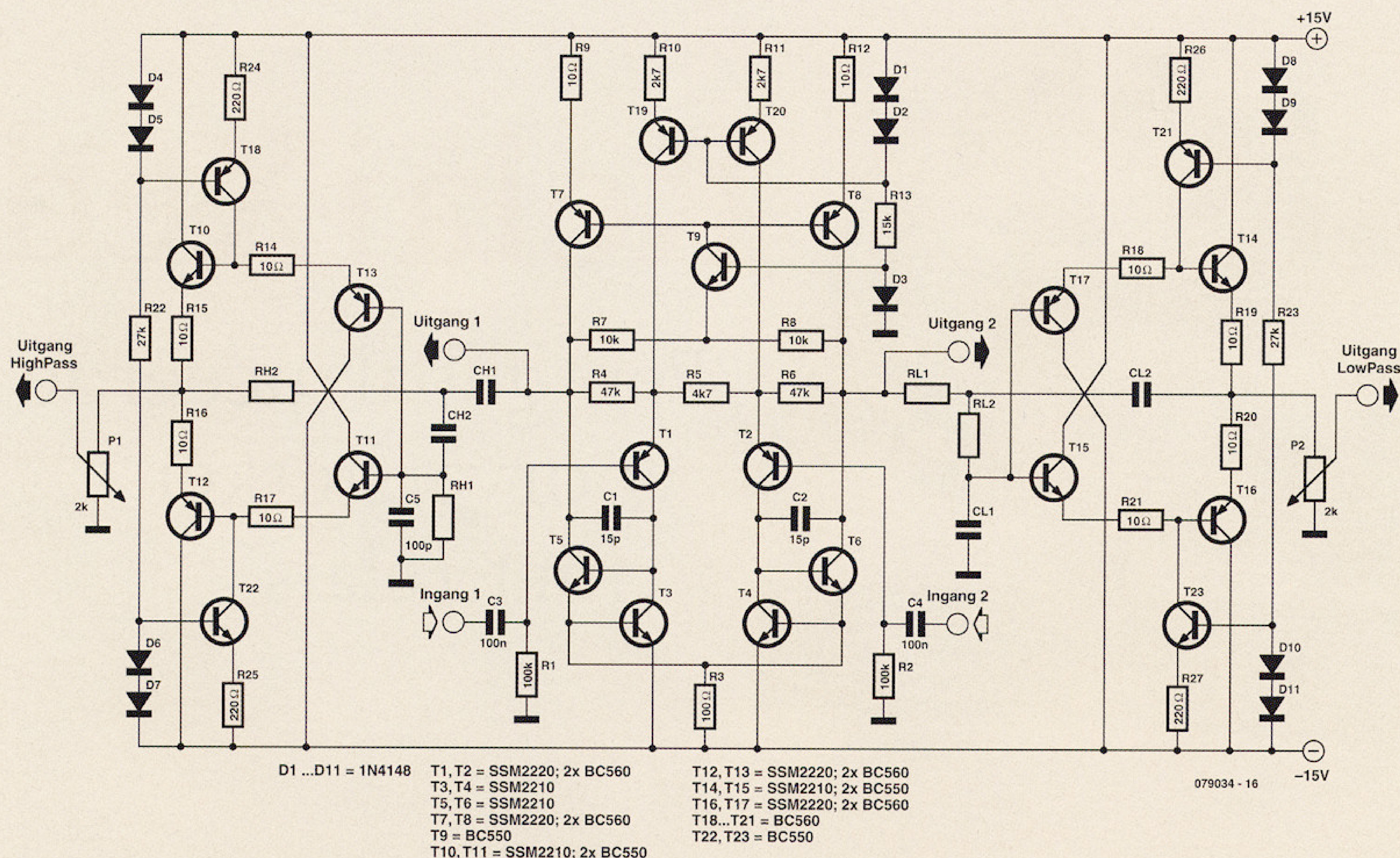
Sallen-Key filters (zie figuur 5) zijn door hun eenvoud erg aantrekkelijk voor gebruik in actieve filters. Door de unity-gain versie te gebruiken is het aantal condensatoren en weerstanden voor een 2de orde filter (12 dB per octaaf, 40 dB per decade) gelijk aan het theoretisch minimum. Een 2de orde filter is daarmee eenvoudig te realiseren, geeft een goede scheiding tussen hoog en laag en is in beperkte mate gevoelig voor componenttolerantie. Voor optimalisatie kan gekozen worden uit de Bessel, Butterworth of Chebychev methode. Butterworth verdient voor audio de voorkeur omdat de respons in het doorlaatgebied maximaal vlak is en de overgang naar het spergebied vloeiend verloopt. Voor het berekenen van de condensator- en weerstandswaarden is het niet nodig om formules te gebruiken. Computerprogramma's zoals AktivFilter 2.3 berekenen de componentwaarden en zijn gebruiksvriendelijk. Een demo versie is voor 2de orde filters voldoende en is te downloaden via http://www.analogfilters.com. Een tweede mogelijkheid is het programma FilterPro V2.0 van Texas Instruments, zie http://www.ti.com.

Compleet schema

In figuur 6 is de gebalanceerde voorversterker verder uitgewerkt en aangevuld met een highpass filter (links) en een lowpass filter (rechts). De unity gain functie voor deze filters is gerealiseerd met een tweetraps complementaire emittervolger. In het beoogde uitstuurgebied (± 2 mA) werkt de schakeling in klasse A. De emitterweerstanden (10 Ω) zijn in waarde gelijk gekozen aan de 1/S van de transistoren. Dit is een waarborg voor minimale vervorming. De uitgangen van de filters zijn voorzien van potmeters om individueel het niveau in te kunnen stellen. De bases van T11,T13 zijn ontkoppeld met C5 om HF stabiliteit te waarborgen. De stroombronnen van de drie deelschakelingen hebben elk een eigen diode referentiecircuit om onderlinge beïnvloeding tegen te gaan. Bij enkelzijdige sturing is het van belang de niet gebruikte ingang met massa te verbinden. De uitgangen 1 en 2 zijn onvoorwaardelijk stabiel bij capacitieve belasting. Deze eigenschap garandeert stabiliteit bij het sturen van actieve wisselfilters.

Realisatie

Figuur 7 toont een foto van de print. In de voeding zijn voltage regulators (78L15 voor de positieve spanning en 79L15 voor de negatieve voeding) opgenomen om de



Figuur 6: Compleet schema gebalanceerde voorversterker /crossover filter

schakeling geschikt te maken voor voedingsspanningen die gebruikelijk zijn voor vermogensversterkers met als resultaat een bereik van ± 17 tot ± 35 V. Voor T3,T4 en T5,T6 is matching van groot belang en wordt SSM2210 aanbevolen. Desgewenst kunnen de componenten in de lijst halfgeleiders gemarkeerd met * of ** worden vervangen door 2×BC550C respectievelijk 2×BC560C.

[1] Met dank aan Dr. Ir. R.F. Wassenaar voor zijn wiskunde bijdrage

Onderdelenlijst

Weerstanden (metaalfilm, ± 1%):
R1,R2 = 100k
R3 = 100 Ohm
R4 = 47k
R5 = 4k7
R6 = 47k
R7,R8 = 10k
R9 = 10 Ohm
R10,R11 = 2k7
R12 = 10 Ohm
R13 = 15k
R14...R21 = 10 Ohm
R22,R23 = 27k
R24...R27 = 220 Ohm

Potmeters:
P1,P2 = cermet trimmer 2k

Condensatoren:
C1,C2 = 15 pF, keramisch
C3,C4 = 100nF, polyester

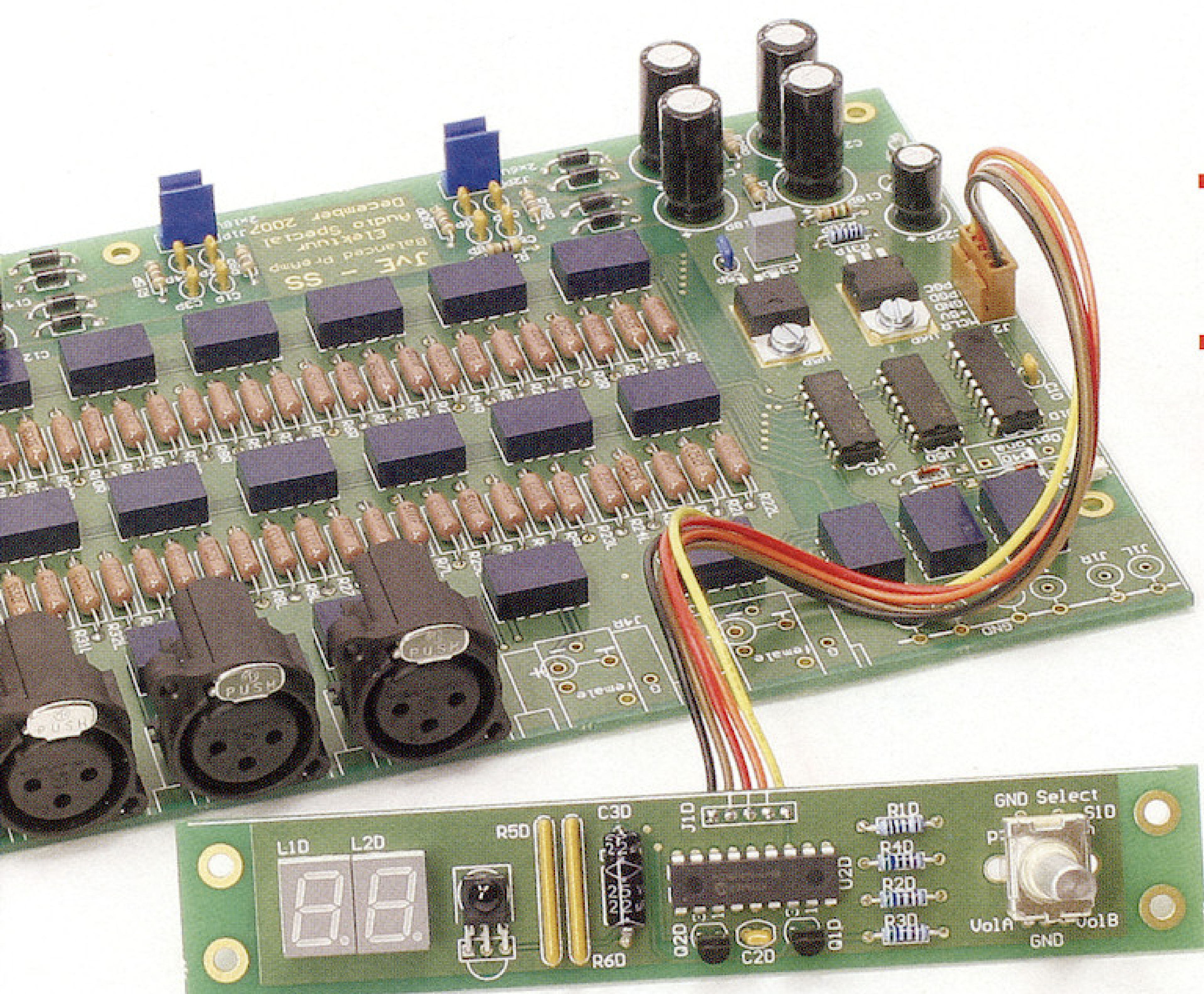
Halfgeleiders:
D1...D11 = 1N4148
T1,T2 = SSM2220 **
T3,T4 = SSM2210
T5,T6 = SSM2210
T7,T8 = SSM2220**
T9 = BC550
T10,T11 = SSM2210*
T12,T13 = SSM2220**
T14,T15 = SSM2210*
T16,T17 = SSM2220**
T18...T21 = BC560
T22,T23 = BC550
* Eventueel 2×BC550
** Eventueel 2×BC560

Filtercomponenten voor fcrossover = 300Hz

RL1 = 12k
RL2 = 22k
CL1 = 22n
CL2 = 47n
RH1 = 22k
RH2 = 10k
CH1 = 27n
CH2 = 47n

Specificaties gebalanceerde voorversterker:

Ontwerp: Wim de Jager, september 2007
Versterking: 10× (20dB)
Onbalans: <1% (<0,1dB)
Bandbreedte: (-3dB) 16Hz.....150kHz
Ingangsimpedantie: 100k| (~R1,R2)
Uitgangsimpedantie: 70|
CMRR: 65dB (1kHz), 63dB (10kHz)
Max. Uo: 7VAC
THD, Uo = 3VAC, 0,07% (1kHz), 0,08% (10kHz)



RelaiXed

Een gebalanceerde voorversterker met relais

DOOR JOS VAN EIJNDHOVEN EN SANDER SASSEN

Voorversterkers, ongeacht of ze gebruik maken van transistoren, buizen of IC's, hebben één ding gemeen en dat is dat ze zonder uitzondering voorzien zijn van een potentiometer voor de volumeregeling. Het hier gepresenteerde ontwerp maakt gebruik van relais en vaste weerstanden en is daarnaast voorzien van afstandsbediening en gebalanceerde in- en uitgangen.

Inleiding

Sinds jaar en dag worden voorversterkers voorzien van een potentiometer om het volume mee te regelen. Dat lijkt op zich een prima oplossing, ware het niet dat de gelijkloop en het logaritmisch verloop tussen de twee secties van een stereo potentiometer nogal brede toleranties kent, iets wat zich uit in een onbalans tussen het linker en rechter kanaal. Daarmee is de potentiometer een doorn in het oog voor menig muziekliefhebber die graag zo min mogelijk compromissen sluit. Het hier gepresenteerde ontwerp omzeilt deze tekortkoming en gebruikt een aantal relais en weerstandsdelers om het volume te regelen. Hierdoor is bij het gebruik van precisie weerstanden de gelijkloop tussen beide kanalen gegarandeerd en behoren krakende en/of ruisende potentiometers ook gelijk tot het verleden. Daarnaast garanderen de hermetisch gesloten klein-signaal relais van hoge kwaliteit ook op de lange duur een betrouwbaar schakelen. In totaal kan het volume in 64 stappen geregeld worden waarbij iedere stap een verzwakking of versterking van circa 1,0 dB voorstelt, daarmee is het regelbereik van de volumeregeling 63 dB.

Omdat niet iedere bron voldoende uitgangsspanning geeft of niet in staat is lage impedanties goed aan te kunnen sturen is het hier gepresenteerde ontwerp voorzien van een extra versterkertrap. Deze versterkertrap heeft naast een stuk versterking het voordeel dat eindversterkers met lage ingangsimpedanties of een gebalanceerde ingang prima zijn aan de sturen. Te denken valt daarbij aan de vorig jaar gepubliceerde ExtremA klasse-A versterker, of de in deze Audio Special terug te vinden MinimA klasse-B versterker, maar ook de populaire Hypex UcD versterkers. Het voorversterkerontwerp is in principe uitgevoerd als een gebalanceerde voorversterker, echter naast drie gebalanceerde ingangen zijn er ook drie single-ended ingangen aanwezig. Van het signaal op deze ingangen maakt de voorversterker gebalanceerde uitgangssignalen. De gebalanceerde uitgangen garanderen een probleemloze en storingsvrije signaaloverdracht naar de eindversterkers.

Uiteraard is deze voorversterker voorzien van afstandsbediening, waarmee alle functies vanaf de luisterplek eenvoudig bediend kunnen worden. Voor bronkeuze en volumeregeling op de voorversterker zelf wordt gebruik gemaakt van een rotary encoder, feitelijk een draaiknop die voorzien is van een aantal contacten waarmee het volume en de bronkeuze geregeld kan worden. De voorversterker is voorzien van een LED display waarop instellingen voor de afstandsbediening gemaakt kunnen worden, maar ook de stand van de volumeregeling of de gekozen bron is af te lezen. De infrarood ontvanger en het LED display worden gemonteerd op een aparte print die eenvoudig op de voorkant van de voorversterker behuizing gemonteerd kan worden. De print met de relais, versterkertrappen en de voeding is ontworpen

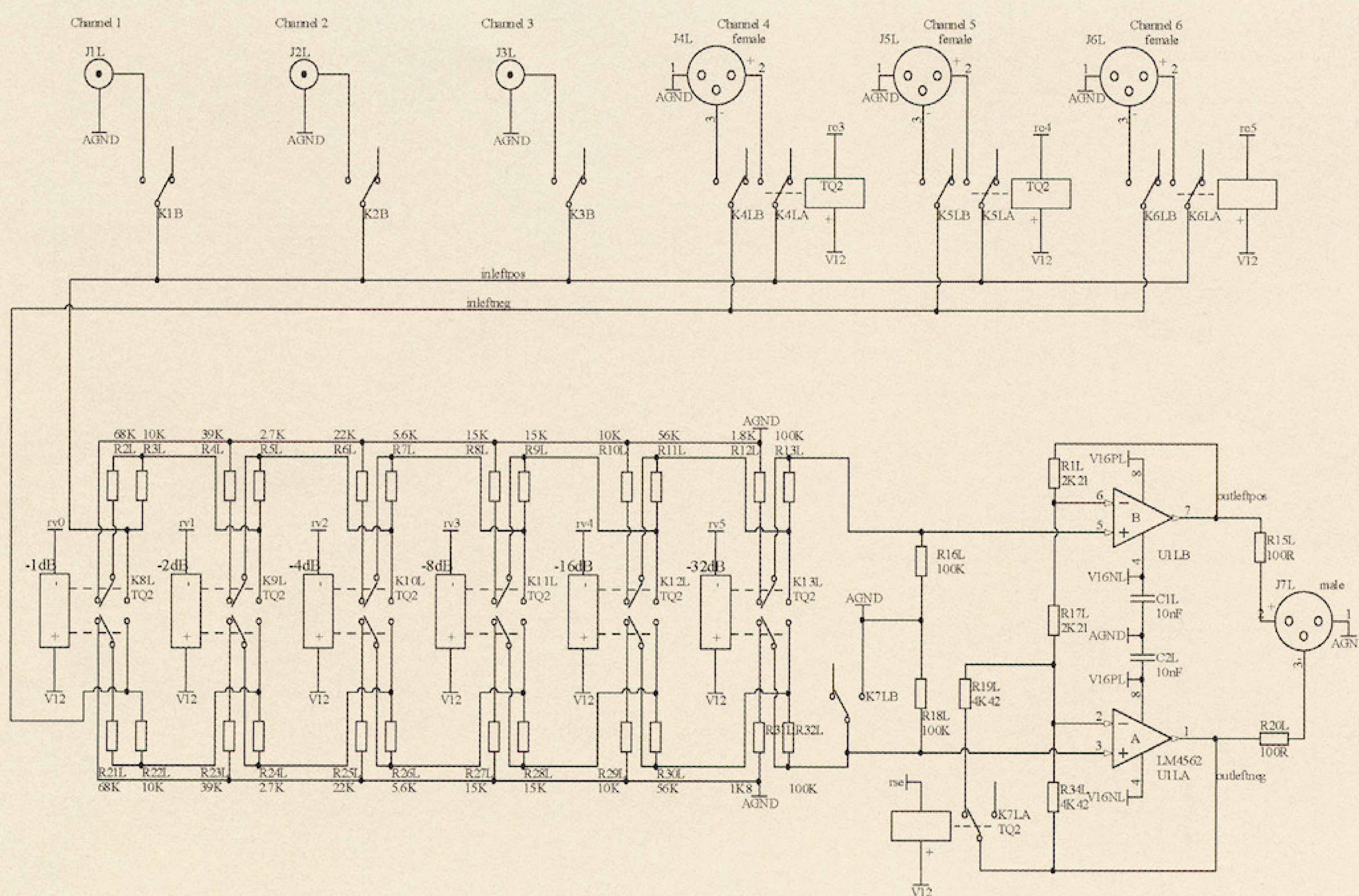
om tegen de achterkant gemonteerd te worden en gebruikt hiervoor XLR connectoren voor printmontage.

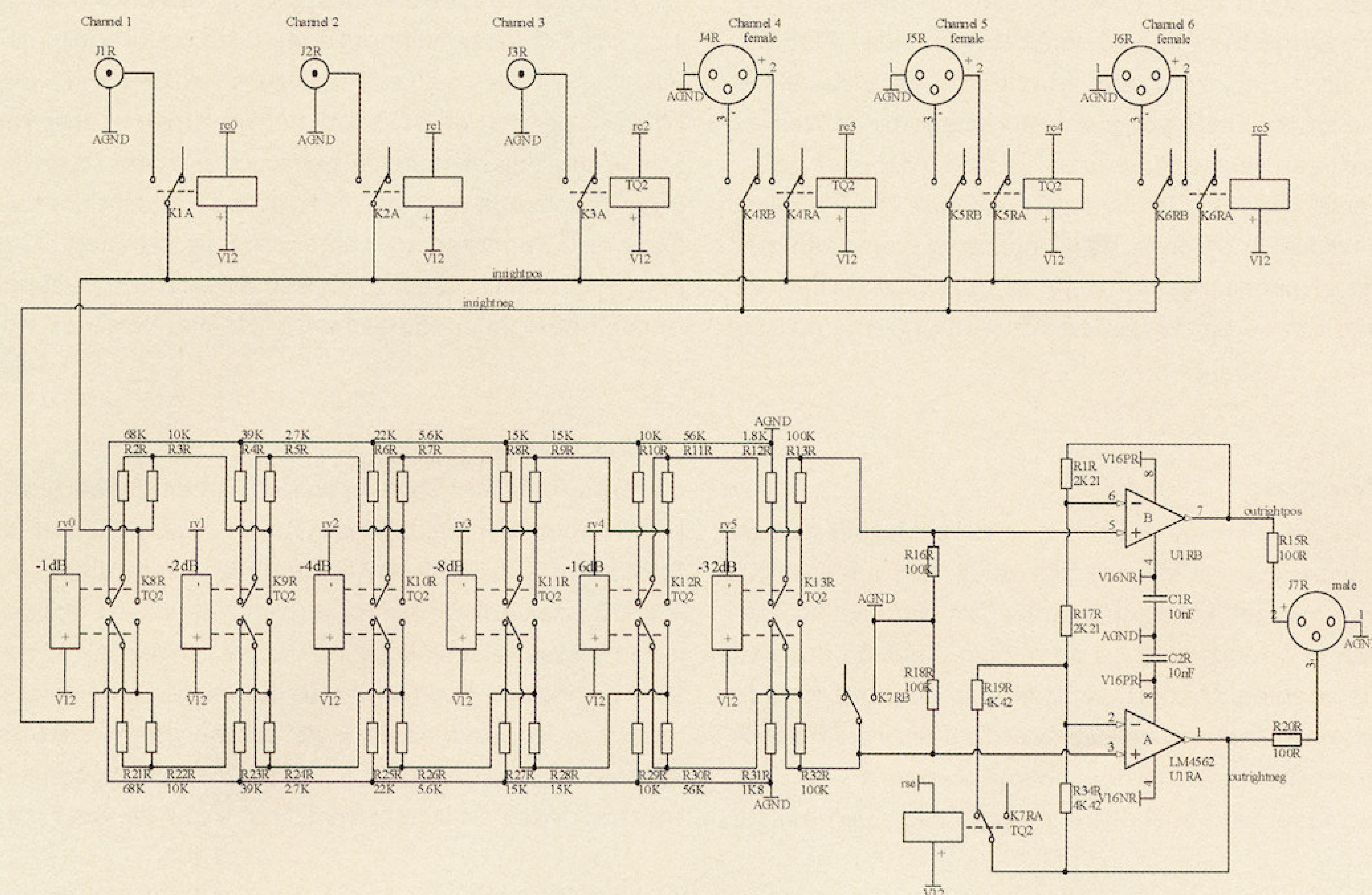
Relais en aansturing

Uiteraard is de keuze van geschikte relais hier heel belangrijk, het gaat hier tenslotte om het schakelen van signalen met een zeer kleine amplitude. De hier gebruikte relais zijn hiervoor prima geschikt en worden veelvuldig ingezet in datacommunicatie toepassingen waarbij het storingsvrij en betrouwbaar kunnen schakelen van zeer kleine signalen een eerste vereiste is. Voor de volumeregeling worden er per kanaal zes relais ingezet, waarmee het volume in 64 stappen te regelen is. Een aantal extra relais van het zelfde type worden gebruikt voor de bronkeuze selectie en het schakelen tussen gebalanceerd of single-ended, daarmee is deze voorversterker dus voorzien van een fors aantal relais. De aansturing van de relais wordt verzorgd door een PIC16F819 microcontroller van Microchip in combinatie met een driver IC, de ULN2003A, omdat de microcontroller zelf niet voldoende stroom kan leveren om de relais goed aan te kunnen sturen. Een tweede PIC16F819 wordt ingezet om de signalen van de afstandsbediening te verwerken, de aansturing van het bijhorende display en de rotary encoder.

Extra versterkertrap

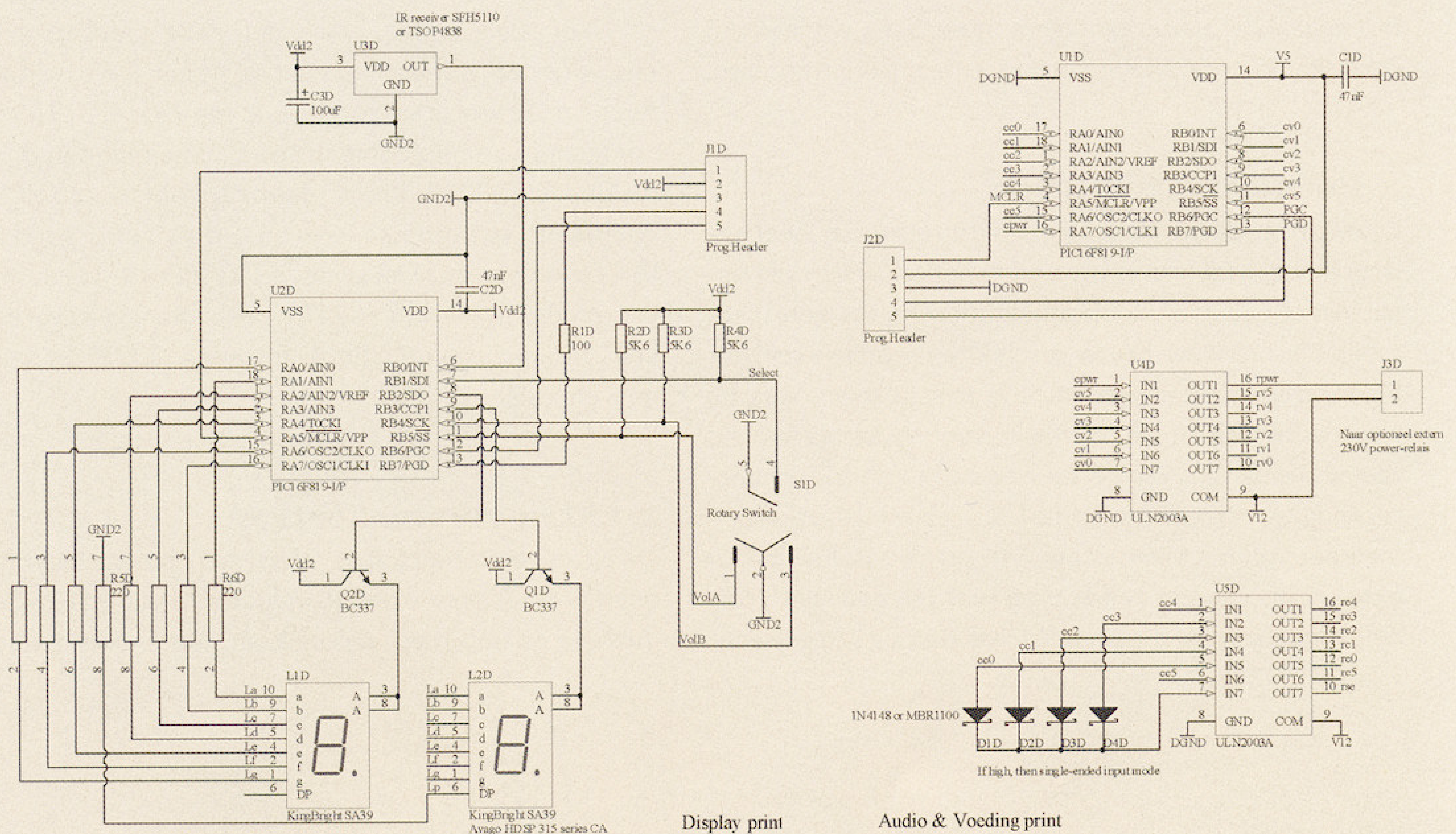
De extra versterkertrap is gebaseerd op een nieuw type opamp van National Semiconductor, de LM4562. Deze dubbele opamp met werkelijk uitmuntende prestaties



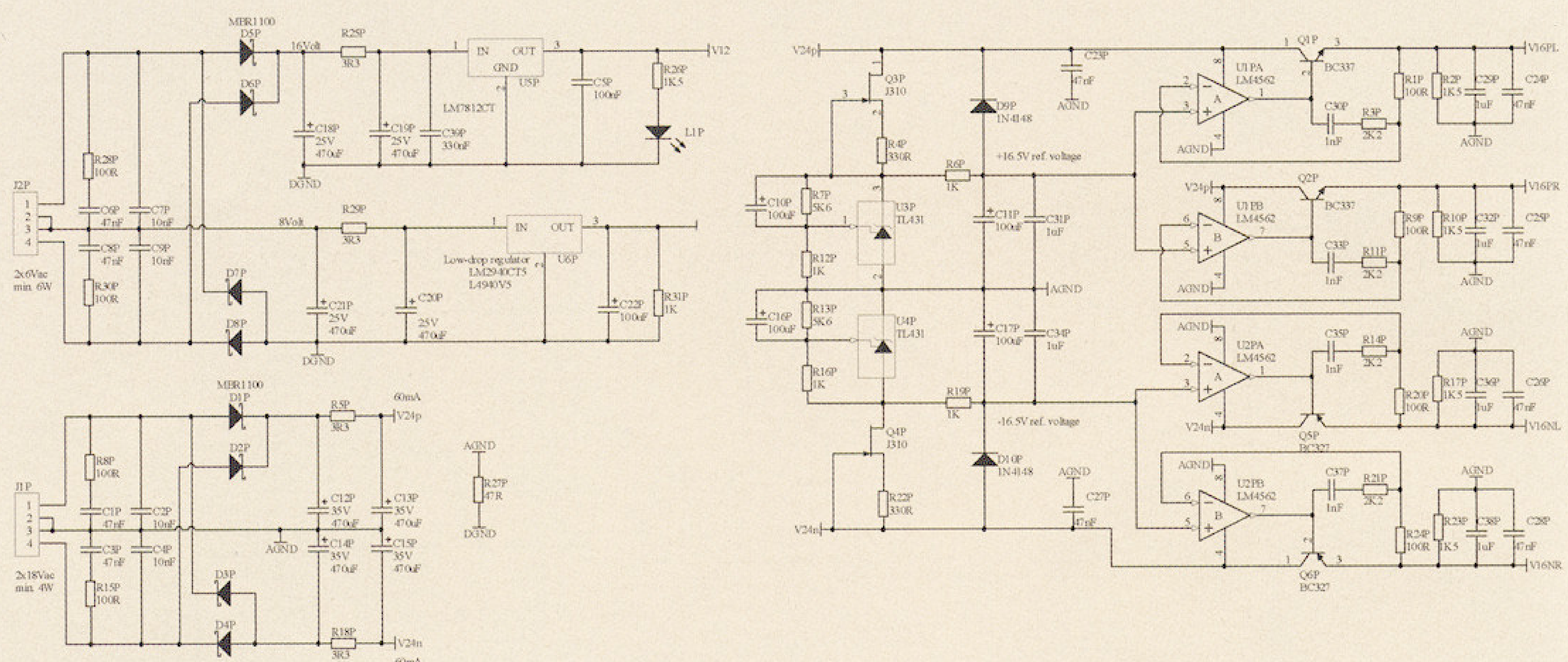


Figuur 1: **Schema linker kanaal**

Figuur 2: **Schema rechter kanaal**



Figuur 3: Schema display en besturing



Figuur 3: Schema voeding

laat de competitie in de vorm van de bekende Burr Brown OPA627 of 637 of de Analog Devices AD8620 ver achter zich, voor een fractie van de prijs. Deze opamp wordt hier ingezet als instrumentatieversterker en heeft een versterking van circa drie maal voor gebalanceerde signalen. De uitgangsimpedantie van deze versterkertrap ligt op circa 100-Ohm en daarmee zijn ook zeer lage impedanties prima aan te sturen, uiteraard met behoud van de eerder genoemde uitmuntende prestaties.

Voeding

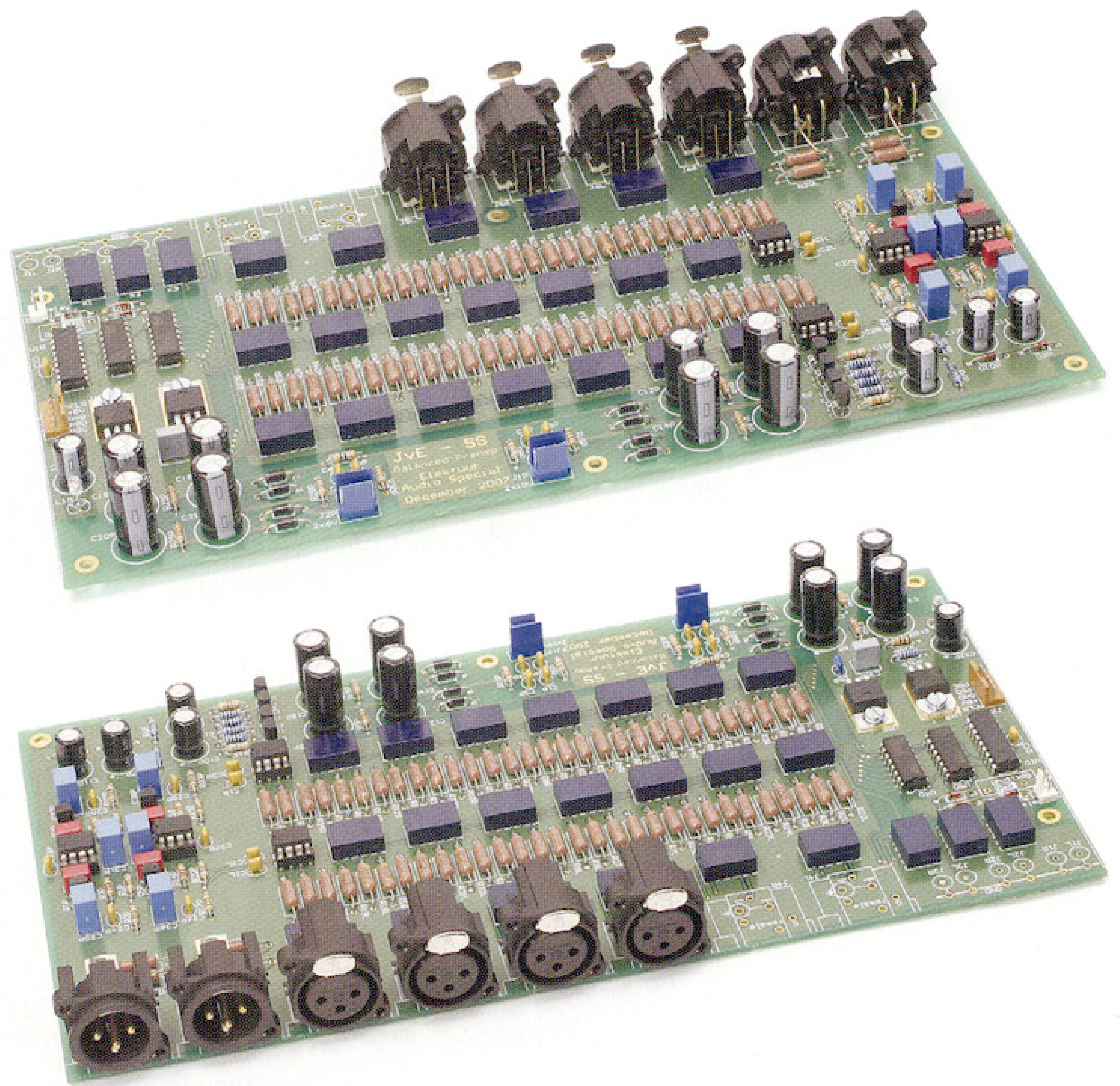
Een eerste vereiste voor een voorversterker is een schone en zeer stabiele voeding omdat het hier gaat om signalen met een kleine amplitude. Om niks aan het toeval over te laten is dan ook de nodige aandacht besteed aan de voeding. Deze is dan ook niet van het bekende recept bestaande uit gelijkrichter, bufferelco en spanningsregelaar. Zoals in het schema te zien is wordt er door middel van de shuntregelaars TL431 een exacte en zeer stabiele referentiespanning opgewekt. Extra elco's ter ontkoppeling ontdoen deze referentiespanning van eventuele ruis. Vervolgens worden weer met LM4562 opamps en BC3xx buffer transistoren zeer ruisarme uitgangsspanningen gemaakt, met een lage uitgangsimpedantie over een zeer breed frequentiebereik. Deze schone, zeer stabiele voedingsspanning zorgt ervoor dat de LM4562 opamps in de versterkertrappen onder optimale condities hun werk kunnen doen.

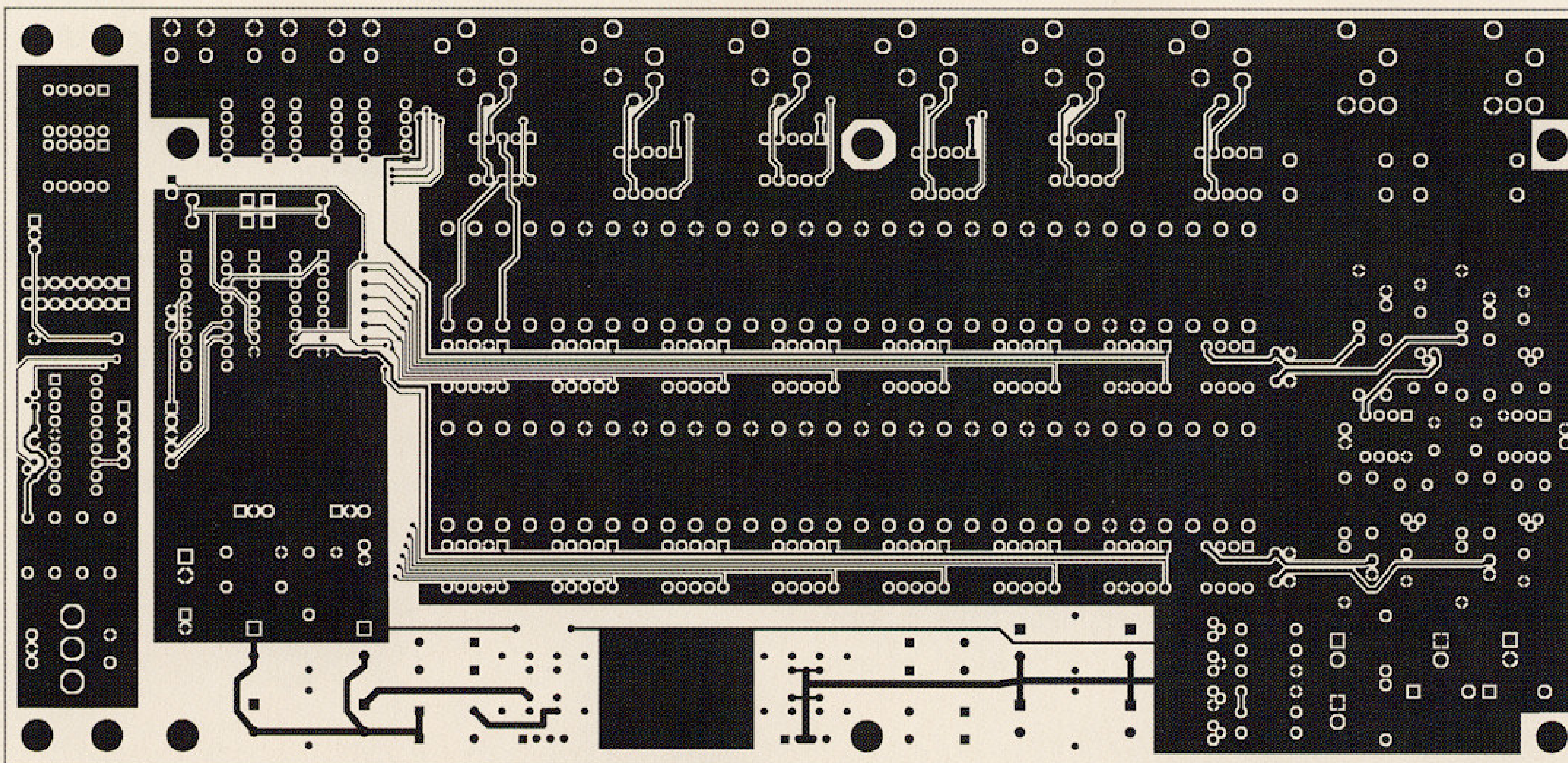
Opbouw

Voor de RelaiXed voorversterker is een dubbelzijdige print ontworpen die bestaat uit een display print en de hoofdprint. Op de display print komt uiteraard het LED display maar ook de rotary encoder die dienst doet als volume regelaar en als ingangskeuze schakelaar. Uiteraard begint de opbouw met de montage van de diverse weerstanden, gevolgd door de diodes, de transistoren en de condensatoren, de IC's, de relais en de connectoren worden als laatste geplaatst. Voor de weerstan-

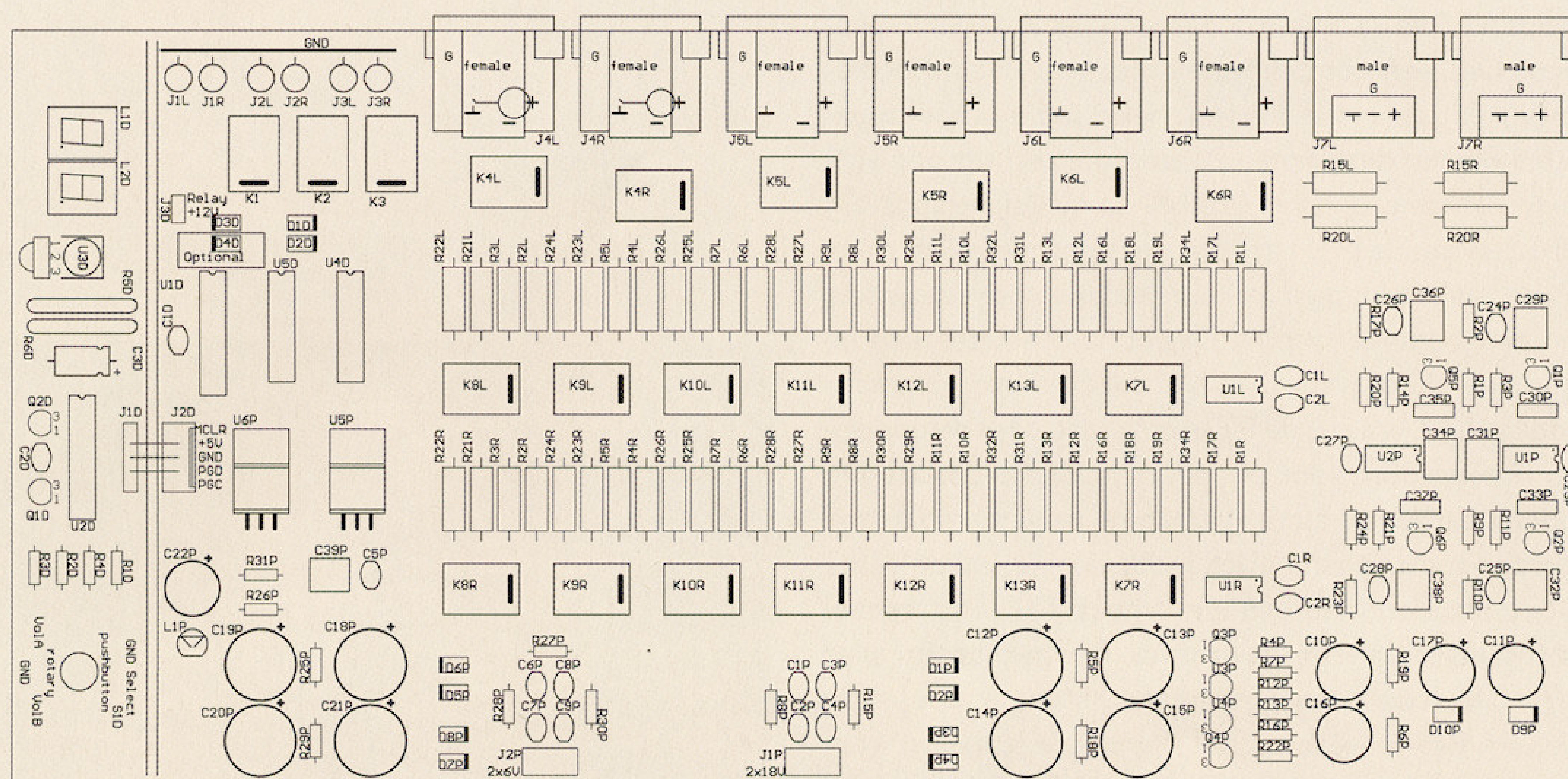
den gebruikt in de volumeregeling en het vastleggen van de versterking van de opamps in de versterkertrap worden zijn hoogwaardige Vishay-Dale RN60D metaal film types gebruikt die een zeer lage ruisbijdrage en temperatuur coëfficient hebben met daarnaast nauwe toleranties. Als passend alternatief is ook de Vishay-Beyschlag MBE/SMA 414 te gebruiken, dit zijn thin film weerstanden met nog nauwere toleranties.

Voor de relais zijn meerdere types te gebruiken, zoals de NAIS/Matsushita/Panasonic TQ2 in DIL-10 behuizing, pin-compatible alternatieven zijn Tyco FP2, en de Omron G6H, al deze relais voldoen prima. De rest van de onderdelen is weinig kritisch en gewone kool- of metaalfilmweerstanden, alsmede Elna RE3, Nichicon YXF of Panasonic ECA elektrolytische condensatoren zijn prima te gebruiken. De overige condensatoren, vooral degenen gebruikt in de voeding, dienen wel van het voorgeschreven type te zijn, of equivalent, om een betrouwbaar eindresultaat te kunnen verzekeren. De gebruikte XLR print connectoren zijn voorzien van vergulde contacten, zodat ook op de langere duur een betrouwbare werking gegarandeerd wordt. De voorver-

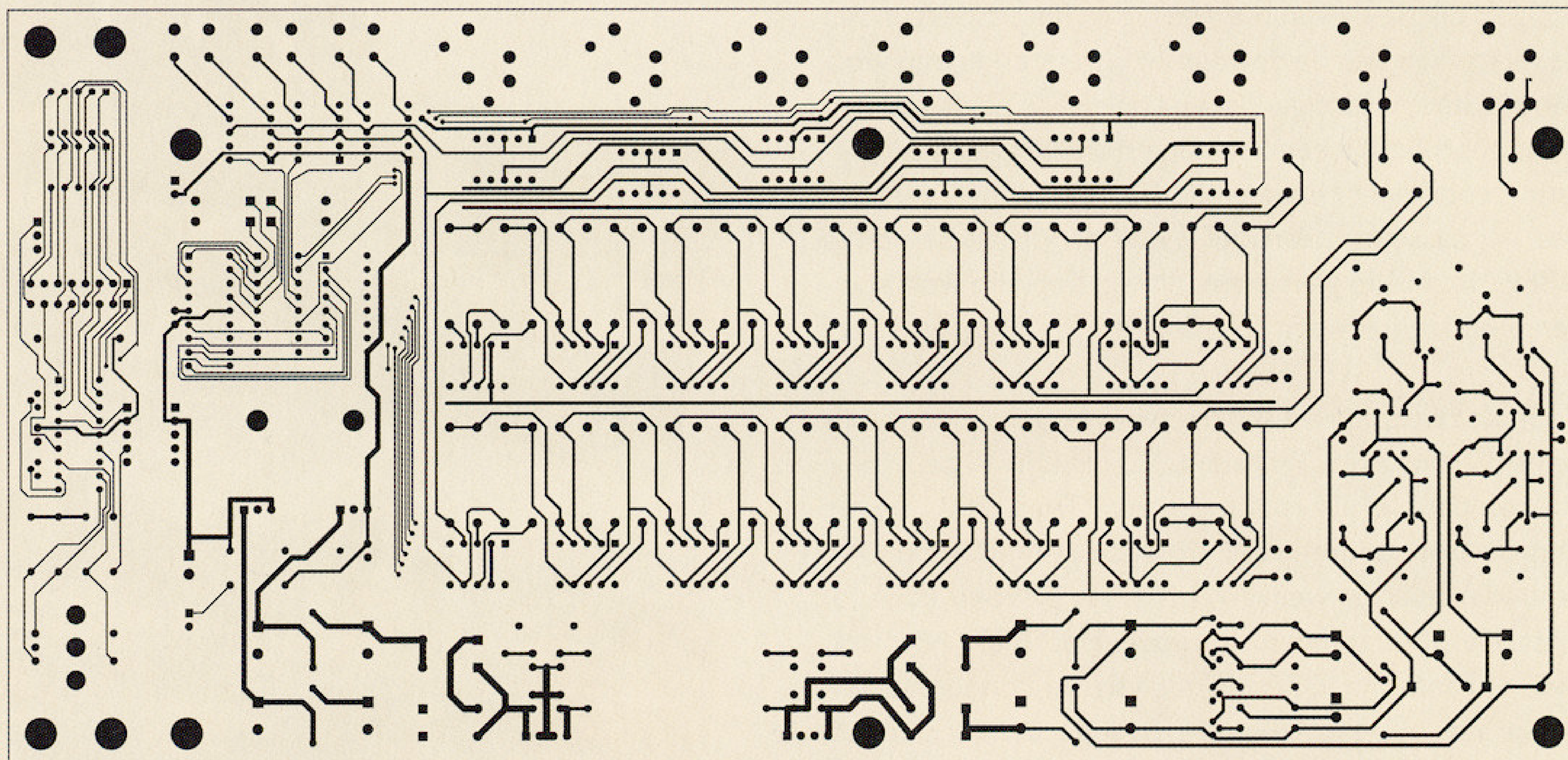




Figuur 5: Print koperlaag bovenkanta



aFiguur 6: Print silkscreen bovenkant



Figuur 7: Print koperlaag onderkant

sterker wordt gevoed door twee aparte ringkern trafo's. Eén van deze trafo's is puur bedoeld voor de versterkertrappen, de andere trafo voorziet de besturing van de voorversterker en het LED display van de benodigde spanning.

Gebruik

De voorversteker is primair ontworpen voor gebruik via een IR afstandsbediening. Daarbij kent de voorversterker de volgende functies: volume-up en -down, ingangs-kanaal-up en -down, ingangskanaal keuze via de cijfers 1 tot 6, 'mute', en 'power-down'. In 'power down' valt het extern aan te sluiten vermogensrelais af, gaat het uitgangs-volume naar 0, gaan de displaycijfers uit en worden alle relais op de print stroomloos. Op het display blijft een decimale punt aan, ten teken dat de voorversterker nog wel spanning heeft, en nog reageert op de afstandsbediening. Hij wordt weer ingeschakeld door nogmaals kort op de power-down te drukken, of een ingangskanaal keuze te maken.

De PIC microcontroller is geprogrammeerd om drie verschillende IR protocollen te kunnen ontvangen: de Philips RC5 en RC6 protocollen, en het Sony SIRC protocol. Dit geeft compatibiliteit met veel afstandsbedieningen, en zeker met alle generieke 'multi-brand' apparaten. Binnen deze protocollen zijn er echter nog veel verschillende opties om toetsen en mogelijke apparaat adressen aan de IR bitstroom toe te kennen. Om daarvan gebruik te kunnen maken, heeft de voorversterker een programmeer mode: Direct na opstarten kan de gebruiker de ontvanger in een speciale programmeer mode zetten, waarbij de PIC microcontroller de ontvangen IR bitstroom voor elk van zijn functies opslaat. De voorversterker zal daarna uitsluitend reageren op de zelf gekozen toetsen van de afstandbediening. Indien de de voorversterker via een externe schakelaar geheel wordt uitgeschakeld, bewaart de PIC microcontroller de laatste volume en ingangskanaal stand in zijn lokale EPROM. Bij het weer inschakelen van de spanning, worden deze laatst gebruikte waardes weer actueel gemaakt.

Ontwerp: Jos van Eijndhoven, Sander Sassen
Email: jos@vaneijndhoven.net, ssassen@hardwareanalysis.com
Website: http://jos.vaneijndhoven.net/relaixed/

Meetresultaten

Signaal/ruis verhouding (A-gewogen) : <110dB
Ingangsimpedantie: varieërt van 22K tot 110K
Uitgangsimpedantie: 100-Ohm
Versterking: 3x gebalanceerd, 4x single ended
Vervorming: 10Vpp in 10K, gebalanceerd (80 kHz bandbreedte) : 1 kHz : <-110dB/ 10 kHz : <-110dB

Onderdelenlijst voorversterker

R1D (1) = 100R 1% 1/4W
R2D,R3D,R4D (3) = 5K6 1% 1/4W
R5D/R6D (2) = 220R SIL netwerk
R1R,R1L,R17R,R17L (4) = 2K21 0.1% 1W
R2R,R2L,R21R,R21L (4) = 68K 0.1% 1W
R3R,R3L,R22R,R22L,R10R,R10L,R29R,R29L (8) = 10K 0.1% 1W
R4R,R4L,R23R,R23L (4) = 39K 0.1% 1W
R5R,R5L,R24R,R24L (4) = 2.7K 0.1% 1W
R6R,R6L,R25R,R25L (4) = 22K 0.1% 1W
R7R,R7L,R26R,R26L (4) = 5K6 0.1% 1W
R8R,R8L,R27R,R27L,R9R,R9L,R28R,R28L (8) = 15K 0.1% 1W
R11R,R11L,R30R,R30L (4) = 56K 0,1% 1W
R12R,R12L,R31R,R31L (4) = 1K8 0,1% 1W
R13R,R13L,R32R,R32L,R16R,R16L,R18R,R18L (8) = 100K 0,1% 1W
R19R,R19L,R34R,R34L (4) = 4K42 0.1% 1W
R15R,R15L,R20R,R20L (4) = 100R 0.1% 1W
R1P,R9P,R20P,R24P,R8P,R15P,R28P,R30P (8) = 100R 1% 1/4W
R2P,R10P,R17P,R23P,R26P (5) = 1K5 1% 1/4W
R3P,R11P,R14P,R21P (4) = 2K2 1% 1/4W
R4P,R22P (2) = 330R 1% 1/4W
R5P,R18P,R25P,R29P (4) = 3R3 1% 1/4W
R6P,R19P,R31P,R12P,R16P (5) = 1K 1% 1/4W
R7P,R13P (2) = 5K6 1% 1/4W
R27P (1) = 47R 1% 1/4W

C1P,C3P,C6P,C8P,C24P,C25P,C26P,C28P,C23P,C27P,C1D,C2D (12) = 47nF ker. multilayer
C2P,C4P,C7P,C9P,C1R,C2R,C1L,C2L (8) = 10nF ker. multilayer
C10P,C16P,C11P,C17P,C3D,C22P (6) = 100uF/35V
C12P,C13P,C14P,C15P,C18P,C19P,C20P,C21P (8) = 470uF/35V
C5P (1) = 100nF ker. multilayer
C39P (1) = 330nF MKT
C30P,C33P,C35P,C37P (4) = 1nF FKP
C29P,C31P,C32P,C34P,C36P,C38P (6) = 1uF MKT

D1P,D2P,D3P,D4P,D5P,D6P,D7P,D8P (8) = MBR1100
D9P,D10P,D1D,D2D,D3D,D4D (6) = 1N4148
L1P (1) = LED rood, 3-mm
L1D,L2D (2) = Kingbright SA39, Avago HDSP315

Q1P,Q2P,Q1D,Q2D (4) = BC337
Q5P,Q6P (2) = BC327
Q3P,Q4P (2) = J310

U1P,U2P,U1R,U1L (4) = LM4562
U3P,U4P (2) = TL431
U5P (1) = LM7812CT
U6P (1) = LM2940-5.0, L4940-5.0
U1D,U2D (2) = PIC16F819-I/P
U4D,U5D (2) = ULN2003A
U3D (1) = SFH5110, TSOP4838
K1A,K2A,K3A,K4R,K4L,K5R,K5L,K6R,K6L,K7R,K7L,K8R,K8L,K9R,K9L,K10R,K10L,
K11R,K11L,K12R,K12L,K13R,K13L (23) = TQ2, FP2, G6H

J1R,J1L,J2R,J2L,J3R,J3L (6) = cinch socket
J4R,J5R,J6R,J4L,J5L,J6L (6) = Neutrix NC3FAH, NC3FAAH
J7R,J7L (2) = Neutrix NC3MAH, NC3MAAH
J1P,J2P (2) = 4-pin molex header, 2.54-mm pitch
J1D,J2D (2) = 5-pin molex header, 2.54-mm pitch
J3D (1) = 2-pin molex header, 2.54-mm pitch
S1D (1) = rotary switch

Trafo 2x18V circa 5VA
Trafo 2x6V circa 5VA

Losse nummerprijs :
Nederland € 6,95
België € 7,35

Abonnementen: Riet Maussen
e-mail: abonnementen@elektuur.nl

Bestellingen/verkoop: Nicolle vd Bosch
e-mail: verkoop@elektuur.nl

Standaard-jaarabonnement

Nederland:		€ 74,00
België:		€ 75,50
buitenland:		
priority-mail	Europa	€ 112,00
	buiten Europa	€ 145,00
standard-mail	Europa	€ 99,00
	buiten Europa	€ 118,00
studie-abonnement	Nederland	-/- 20%
	België	-/- 20%
CJP-abonnement		-/- 10%

ABO-PLUS-jaarabonnement

Nederland:		€ 84,00
België:		€ 85,50
buitenland:		
luchtpost	Europa	€ 122,00
	buiten Europa	€ 155,00
surface-mail	Europa	€ 109,00
	buiten Europa	€ 128,00
studie-abonnement	Nederland	-/- 20%
	België	-/- 20%
CJP-abonnement		-/- 10%

Een abonnement kan op ieder gewenst tijdstip ingaan en loopt automatisch door, tenzij het 2 maanden voor de vervaldatum schriftelijk is opgezegd. De snelste en goedkoopste manier om een nieuw abonnement op te geven is die via de antwoordkaart in dit blad. Reeds verschenen nummers op aanvraag leverbaar (huidige losse-nummerprijs geldt).

Adreswijzigingen s.v.p. minstens 3 weken van tevoren opgeven met vermelding van oude en nieuwe adres en het abonneenummer.
De afdeling klantenservice is bereikbaar: maandag t/m donderdag van 08.30 tot 17.00 uur, vrijdag van 08.30 tot 12.30 uur

Voor al uw vragen over abonnementen, kunt u deze afdeling bellen onder nummer 046 - 4389424.

Voor bestellingen belt u : 046-4389414

Voor het afhandelen van uw abonnement of bestelling vraagt Uitgeversmaatschappij Segment uw persoonsgegevens. Het klantenbestand van Segment is als persoonsregistratie aangemeld bij het College Bescherming Persoonsgegevens onder nr. M 1024093.

De door u verstrekte gegevens kunnen gebruikt worden om u te informeren over relevante diensten en producten. Stelt u daar geen prijs op, dan kunt u dit doorgeven aan: Elektor International Media BV, Afdeling Lezersmarkt, Postbus 11, 6114 ZG Susteren.

Prijswijzigingen voorbehouden.

COLOFON

Elektor Audio Special December 2007

Elektor wil mensen inspireren om zich elektronica eigen te maken door het presenteren van bouwbeschrijvingen en door het signaleren van ontwikkelingen in de elektronica en technische informatica.

Elektor is een uitgave van Elektor International Media BV
Allee 1, Limbricht
Postbus 11, 6114 ZG Susteren
Tel. +31 (0)46-4389444,
Fax +31 (0)46-4370161

Elektor verschijnt elf maal per jaar, in juli/augustus verschijnt een dubbelnummer.
Onder de naam Elektor verschijnen Engelstalige, Franstalige en Duitstalige edities. Elektor is in meer dan 50 landen verkrijgbaar.

Internationaal hoofdredacteur:
Mat Heffels, Wisse Hettinga

Redactie Elektor Special:
Femke van der Putten,
ir. Menno van der Veen (freelance),
ir. Sander Sassen (freelance)

Redactie:
Harry Baggen (hoofdred.),
Thijs Beckers (redactie@elektuur.nl)

Internationale redactie:
Jan Buiting, Ernst Krempelsauer,
Jens Nickel, Guy Raedersdorf

Redactiesecretariaat:
Hedwig Hennekens

Technische redactie:
Ton Giesberts, Paul Goossens ,
Luc Lemmens, Christian Vossen

Vormgeving:
Option One, Amsterdam

Directeur:
Paul Snakkers

Uitgever Elektuur Special:
Ferdinand te Walvaart

Marketing:
Carlo van Nistelrooy

Hoofd klantenservice:
Anouska van Ginkel

Abonnementen:
Riet Maussen
(abonnementen@elektuur.nl)
Tel. 046-4389424

Bestellingen:
Nicolle v.d. Bosch
(verkoop@elektuur.nl)
Tel. 046-4389414

Hoofd advertentieverkoop:
Frank van de Raadt
(advertenties@elektuur.nl)
Tel. 046-4389444

Advertentietarieven, nationaal en internationaal, op aanvraag. Alle advertentiecontracten worden afgesloten conform de Regelen voor het Advertentiewezen gedeponeerd bij de rechtbanken in Nederland. Een exemplaar van de Regelen voor het Advertentiewezen is op aanvraag kostenloos verkrijgbaar.

Druk: Printec Offset, Kassel (D)
Distributie: Betapress, Gilze